



**RICARDO FLEURY ROLLER**

**ANÁLISE NA RECEPÇÃO DE SINAIS EM WLANS INDOORS  
UTILIZANDO CABO IRRADIANTE**

**Brasília - DF  
Julho de 2009**

**RICARDO FLEURY ROLLER**

**ANÁLISE NA RECEPÇÃO DE SINAIS EM WLANS INDOORS  
UTILIZANDO CABO IRRADIANTE**

Trabalho apresentado à banca examinadora da Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas (FATECS) - UniCEUB, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro da Computação.

Professor Orientador: MsC. Gleyson Azevedo da Silva.

**Brasília - DF  
2009**

**RICARDO FLEURY ROLLER**

**ANÁLISE NA RECEPÇÃO DE SINAIS EM WLANS INDOORS  
UTILIZANDO CABO IRRADIANTE**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Francisco Javier de Obaldia Díaz**

---

**Gleyson Azevedo da Silva**

---

**João Marcos Souza Costa**

**Brasília, Julho de 2009**

"Aos meus pais, por toda dedicação,  
carinho, paciência e ajuda."

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, acima de tudo, porque sem Ele não somos capazes de realizar nada.

Aos meus pais, pelos conselhos e ajuda ao longo de todos os anos de faculdade. Pela formação pessoal que me deram, com valores e exemplos.

Ao orientador Gleyson Azevedo pela ajuda no projeto, bem como ao professor Francisco Javier.

À minha namorada, companheira em todas as horas; e aos meus amigos e família, pelos momentos de diversão e lazer.

## RESUMO

A necessidade de aprimoramento das redes sem fios cresce à medida que surgem novas tecnologias adaptadas para os ambientes 802.11. Numa rede *wireless*, a recepção do sinal com qualidade é o primeiro ponto que deve ser considerado para um projeto de rede sem fio eficaz. Redes sem fio com dispositivos que captam o sinal de forma ineficiente, quase sempre estão destinadas a apresentarem problemas de comunicação entre os roteadores e os computadores de destino, bem como taxas de transferência, alcance de sinal e tempo de resposta.

O presente projeto apresenta uma análise trabalhada com um novo tipo de antena cabeada, denominada cabo irradiante, em conjunto com os roteadores comumente utilizados nas redes *wireless*. O cabo antena irradiante já é usado oficialmente em alguns túneis e estações de metrô, com o intuito de preservar o sinal de celulares e dispositivos que utilizam a mesma radiofrequência. Neste trabalho, estudou-se a utilização e o comportamento na implementação desse tipo de cabo numa rede local sem fio, com o intuito de melhorar a recepção, o alcance e a distribuição do sinal para determinados pontos. Dessa forma, este trabalho levantou os pontos positivos e negativos de sua utilização nos ambientes *indoors* de redes *wireless* locais.

### Palavras-Chave:

IEEE 802.11, cabo irradiante, sinal, wireless, qualidade de recepção, alcance.

## **ABSTRACT**

The upgrade necessity of wireless networks grows as new 802.11 technologies appear. In a wireless network, the signal reception with quality is the first point for a good non-cable network project. Wireless equipments that get the signal with bad intensity show, at almost times, communications problems between the routers and the hosts, well as bad transfer rates, signal distances and answer times.

The present project presents a worked analysis with a new cable antenna type, named radiaflex cable, together with the common wireless networks router available nowadays. The Radiaflex Cable is almost officially used at some tunnels and metro stations for the preservation of cell signals and signals of equipments that use the same radiofrequency. This work studies the comportment and utilization of using a radiaflex cable in a wireless local area network, for the best signal reception and distribution for determined points. By this method, the project shows positive and negative points of utilizing the cable at a WLAN indoor ambient.

### **Keywords:**

IEEE 802.11, radiaflex cable, wireless signal, reception intensity, distance.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	3
1.2 OBJETIVO GERAL.....	3
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....	4
 <b>CAPÍTULO 2. O AMBIENTE 802.11 E A TRANSMISSÃO SEM FIO.....</b>	<b>5</b>
2.1 OS MODELOS OSI E TCP/IP.....	5
2.2 O PROTOCOLO ICMP E O COMANDO PING.....	8
2.3 OS PADRÕES IEEE 802.11.....	9
2.4 SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO VIA RÁDIO.....	12
2.5 ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO.....	14
2.5.1 Roteador Wireless.....	14
2.5.2 Antena e Largura de Banda.....	16
2.5.2.1 Diretividade e Ganho.....	19
2.5.2.2 Diagrama de Irradiação.....	19
2.5.3 Cabo Coaxial.....	20
2.5.4 Cabo Antena Irradiante.....	21
2.5.5 Conectores.....	23
2.6 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.....	24
2.6.1 Propagação.....	25
2.6.2 Alcance das Emissões.....	28
2.6.3 Fenômenos Nocivos à Propagação.....	28
2.6.3.1 Atenuação.....	29
2.6.3.2 Interferência.....	30
2.6.4 Mecanismos de Propagação.....	31
2.6.4.1 Reflexão.....	31
2.6.4.2 Refração.....	32
2.6.4.3 Difração.....	33
2.7 MODELOS DE PREDIÇÃO EM AMBIENTES FECHADOS.....	34
2.7.1 Modelo One Slope.....	35
2.7.2 Modelo Multi-Wall.....	37



<b>CAPÍTULO 3. INFRA-ESTRUTURA DE HARDWARE E SOFTWARE.....</b>	<b>40</b>
3.1 HARDWARE DE TRANSMISSÃO.....	40
3.1.1 Roteador D-Link DI-524.....	40
3.1.2 Cabo Radiaflex® RCF 1/2.....	41
3.1.3 Conector N Macho para Radiaflex RCF 1/2.....	42
3.1.4 Pigtail D-Link RG 058 NF.....	42
3.2 HARDWARE DE RECEPÇÃO.....	43
3.3 SOFTWARES.....	43
3.3.1 Vista Stumbler.....	44
3.3.2 Wireshark.....	44
3.3.3 Ekahau HeatMapper .....	44
 <b>CAPÍTULO 4. IMPLEMENTAÇÃO DOS CENÁRIOS E MEDIDAS.....</b>	 <b>46</b>
4.1 TOPOLOGIAS.....	46
4.1.1 Cenário I.....	47
4.1.2 Cenário II.....	48
4.2 CONFIGURAÇÃO DA WIRELESS LOCAL AREA NETWORK.....	49
4.3 MONTAGEM DO CABO IRRADIANTE.....	55
4.4 RECEPÇÃO DO SINAL.....	60
4.4.1 Recepção na Análise I.....	64
4.4.2 Recepção na Análise II.....	65
4.4.3 Recepção na Análise III.....	66
4.5 TEMPO DE RESPOSTA.....	67
4.5.1 Procedimento Padrão para Medições.....	68
4.5.2 ICMP – Mensagens de Echo.....	69
4.6 CÁLCULO DA REDE WLAN EM AMBIENTE FECHADO.....	72
4.6.1 One Slope no Cenário I.....	74
4.6.2 Multi-Wall no Cenário I.....	75
4.6.3 One Slope no Cenário II.....	76
4.6.4 Multi-Wall no Cenário II.....	77
 <b>CAPÍTULO 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	 <b>79</b>
5.1 NÍVEIS DE RECEPÇÃO.....	79
5.1.1 Gráfico Comparativo da Porcentagem do Sinal.....	82

5.2 TEMPO DE RESPOSTA.....	83
5.2.1 Pacotes Perdidos.....	85
5.3 COMPARAÇÃO COM CÁLCULO DA REDE.....	87
5.4 PROBLEMAS OCORRIDOS.....	90
 <b>CAPÍTULO 6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>91</b>
6.1 SUGESTÕES PARA PROJETOS FUTUROS.....	92
 <b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>93</b>
<b>GLOSSÁRIO.....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICE A - MEDIDAS DA PORCENTAGEM DO SINAL.....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE B - MEDIDAS DE TEMPO DE RESPOSTA.....</b>	<b>98</b>

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 2.1 - Estrutura do Modelo OSI (MSPC, 2008).....	6
Figura 2.2 - Modelo OSI x Modelo TCP/IP (Under Linux, 2009).....	7
Figura 2.3 - Elementos de um Sistema de Comunicação (NASCIMENTO, 2000).....	13
Figura 2.4 - Elementos de um Sistema de Comunicação via Rádio (NASCIMENTO, 2000).....	14
Figura 2.5 - Largura de Banda de uma Antena (Electrónica, 2008).....	18
Figura 2.6 - O Cabo Coaxial (ESMF, 2008).....	21
Figura 2.7 - O Cabo Irradiante (Teleco, 2008).....	22
Figura 2.8 - Sinal de RF sendo transportado em cabo comum (Teleco, 2008).....	22
Figura 2.9 - Sinal de RF sendo transmitido através de um cabo irradiante (Teleco, 2008).....	23
Figura 2.10 - Sinal de RF sendo recebido através de um cabo irradiante (Teleco, 2008).....	23
Figura 2.11 - Direção de Propagação de Ondas Eletromagnéticas - B x E (Fisicom, 2008).....	26
Figura 2.12 - Direção de Propagação - Esfera (0.Antena, 2008).....	27
Figura 2.13 - Reflexão de Sinal RF (Julio Battisti, 2008).....	32
Figura 2.14 – Refração de Sinal RF (Julio Battisti, 2009).....	32
Figura 2.15 - Difração de Sinal RF (CerComp, 2008).....	34
Figura 3.1 - Roteador D-Link DI-524 utilizado no projeto (vista de frente).....	41
Figura 3.2 - Roteador D-Link DI-524 utilizado no projeto (vista de trás).....	41
Figura 3.3 - Cabo 1/2" RADIAFLEX® RCF 12-50JFN utilizado no projeto.....	42
Figura 4.1 - Vista Superior do Ambiente de Análise do Projeto.....	47
Figura 4.2 - Cenário sem o Cabo Irradiante.....	48
Figura 4.3 - Cenário com o Cabo Irradiante.....	48
Figura 4.4 - Cenário para criação e configuração da WLAN.....	50
Figura 4.5 - Requisição de autenticação.....	50
Figura 4.6 - Tela inicial da configuração.....	51
Figura 4.7 - Configurações de canal e segurança.....	51
Figura 4.8 - Clone do Endereço MAC para o Router.....	52
Figura 4.9 - Escolha do tipo de Conexão ao ISP.....	53
Figura 4.10 - Endereço IP e Máscara de Rede do Roteador.....	53

Figura 4.11 - Wireless Router como DHCP Server.....	54
Figura 4.12 - Mensagem de Processamento da nova WLAN.....	54
Figura 4.13 - Configuração WLAN concluída.....	55
Figura 4.14 - Cabo com capa Protetora.....	56
Figura 4.15 - Cabo sem a capa Protetora.....	56
Figura 4.16 - Corte do condutor externo e raspagem da espuma dielétrica.....	57
Figura 4.17 - Entrada do Anel O-Ring e Termo Contrátil.....	57
Figura 4.18 - Conector plugado no Cabo Irradiante.....	58
Figura 4.19 - Pigtail plugado no Cabo Irradiante.....	59
Figura 4.20 - Remoção da Antena do roteador.....	59
Figura 4.21 - Pigtail plugado no roteador.....	59
Figura 4.22 - Localizações de transmissor, receptor e cabo irradiante.....	60
Figura 4.23 - Cobertura do sinal no cenário I.....	62
Figura 4.24 - Cobertura do sinal no cenário II.....	63
Figura 4.25 - Gráfico de recepção da análise 1 no cenário I.....	64
Figura 4.26 - Gráfico de recepção da análise 1 no cenário II.....	65
Figura 4.27 - Gráfico de recepção da análise 2 no cenário I.....	65
Figura 4.28 - Gráfico de recepção da análise 2 no cenário II.....	66
Figura 4.29 - Gráfico de recepção da análise 3 no cenário I.....	66
Figura 4.30 - Gráfico de recepção da análise 3 no cenário II.....	67
Figura 4.31 - Ping – análise I no cenário I.....	70
Figura 4.32 - Ping – análise I no cenário II.....	71
Figura 4.33 - Dados de Entrada para Cálculo da Rede.....	73
Figura 5.1 - Análise do Resultado – Nível de Recepção.....	80
Figura 5.2 - Gráfico de Porcentagem do Sinal.....	83
Figura 5.3 - Gráfico do Tempo de Resposta.....	84
Figura 5.4 - Pacotes Perdidos.....	86
Figura 5.5 - Gráfico dos Valores e Cálculo com Modelo One Slope.....	88
Figura 5.6 - Gráfico dos Valores de Cálculo com Modelo Multi-Wall.....	89

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 2.1 - Alguns Padrões IEEE 802.11.....	09
Tabela 2.2 - Canalização do padrão 802.11g (SANCHES; p.223).....	11
Tabela 2.3 - Principais Parâmetros da Camada Física - 802.11g (SANCHES; p.226).....	12
Tabela 2.4 - Correspondência entre dBm e miliwatt (MORIMOTO, 2008).....	16
Tabela 2.5 - Classificação das Ondas de Rádio (NASCIMENTO; p.13).....	27
Tabela 2.6 - Expoente n em alguns ambientes (NASCIMENTO; p.171).....	36
Tabela 2.7 - Valores de L(d0) para algumas faixas de frequências (NASCIMENTO; p.172).....	37
Tabela 2.8 - Alguns valores de FAF (NASCIMENTO; p.173).....	38
Tabela 2.9 - Atenuação aproximada do sinal em diferentes materiais (NASCIMENTO; p.165).....	38
Tabela 4.1 - Dados de Entrada para Cálculo da Rede.....	73
Tabela 5.1 - Medidas da Porcentagem do Sinal.....	79
Tabela 5.2 - Relação de Echo Replys não recebidas.....	86

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

---

dB - Decibel (Unidade freqüentemente usada para se medir grandezas em telecomunicações; geralmente é acompanhada de alguma letra para indicar comparação de grandezas)

dBi - Decibel Isotrópico (Unidade para se medir o ganho de uma antena)

dBm - Decibel Miliwatt (Unidade para se medir potência de transmissão de uma antena)

DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol ou Protocolo de Configuração dinâmica de Estação

DNS - Domain Name Service ou Serviço de Nomes de Domínio

FAF – Floor Attenuation Factor ou Fator de Atenuação entre Pisos Adjacentes

FCC - Federal Communications Commission

GHz - Giga-Hertz

ICMP – Internet Control Message Protocol ou Protocolo de Controle de Mensagem na Internet

IP - Internet Protocol ou Protocolo de Internet

IPv6 - Protocolo IP versão 6

ISM - Industrial, Scientific and Medical

ISP - Internet Service Provider ou Provedor de Serviço de Internet

IEEE - Institute of Electrical and Eletronics Engineers

LAN - Local Area Network ou Rede Local

MAC - Midia Access Control ou Controle de Acesso de Mídia

Mbps - Mega Bits por Segundo

MHz - Mega-Hertz

OEM - Ondas Eletromagnéticas

OSI - Open Systems Interconnection ou Interconexão de Sistemas Abertos

PAN - Personal Area Network ou Área de Rede Pessoal

RF - Radiofrequência

SO - Sistema Operacional

TCP – Transport Control Protocol ou Protocolo de Controle de Transporte

TI - Tecnologia da Informação

WEB - World Wide Web ou Rede de Alcance Mundial; Internet

Wi-Fi - Wireless Fidelity

WLAN - Wireless Local Area Network ou Rede Local sem Fio

WPA - Wi-Fi Protected Access

WPA-PSK - Wi-Fi Protected Access-Pre-Shared Key

## LISTA DE EQUAÇÕES

---

Equação 2.1 – Ganho de uma Antena.....	19
Equação 2.2 - Comprimento de Onda em função da velocidade e frequência.....	26
Equação 2.3 – Cálculo para Refração.....	33
Equação 2.4 - Cálculo para modelo One Slope.....	36
Equação 2.5 - Cálculo para modelo Multi-Wall.....	37
Equação 2.6 - Cálculo para Nível de Recepção.....	39



## CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

---

Os sistemas *wireless* vêm ganhando cada vez mais espaço tanto nas pequenas e médias empresas como nas residências. A evolução dos dispositivos que utilizam este tipo de comunicação teve um crescimento exponencial nos últimos anos, devido em grande parte à necessidade da utilização de novas tecnologias que apresentem solução para os problemas que surgem freqüentemente no ambiente de TI.

As redes sem fios que começaram a aparecer nos meados de 1990, disponibilizadas pelo IEEE através do padrão 802.11, evoluíram e se popularizaram tanto que hoje é comum esperar que sistemas como estes estejam disponíveis em vários lugares como aeroportos, hotéis e cyber cafés (SANCHES; 2005)

No panorama tecnológico atual, a dependência da eficiência e da segurança de transmissão nas redes de dados pode ser classificada como o ingrediente principal num projeto de rede bem-sucedido para uma empresa. Nas redes locais sem fio (*Wireless Local Area Network* - WLAN), essa característica se torna muito mais importante, pois numa transmissão sem fio os dados que estão sendo guiados estão no ar, não guiados dentro do cabo como numa rede cabeada. Dessa forma, variações no ambiente ou interferências externas podem afetar a transmissão, ao passo que a exposição no ar dos dados trafegados compromete a segurança dos mesmos.

O ponto-chave dessa fragilidade numa rede *wireless* é a grande área de difusão do sinal pelo roteador e, conseqüentemente, a grande área de abrangência da rede. Fica difícil, para os devidos objetivos de segurança e acesso, tornar a rede acessível apenas dentro dos limites físicos de uma empresa ou residência, já que sua área de abrangência pode ultrapassar claramente paredes e portas. Esta situação somada às limitações de segurança, é o grande impedimento que ainda freia as grandes empresas no ímpeto de adotarem uma infra-estrutura de rede sem fio por completo.

Numa rede *wireless*, a transmissão e recepção do sinal é a primeira etapa que indica o nível de qualidade da rede. Redes sem fio com dispositivos que captam o sinal de forma ruim, quase sempre estão destinadas a apresentarem problemas de comunicação entre os roteadores e os computadores de destino, bem como taxa de transferência, alcance de sinal e tempo de resposta ruins. Apesar de num ambiente empresarial poder-se levar em conta a localização exata do ponto de acesso que irá atuar como fonte de transmissão, por exemplo, avaliando-se objetos que possam causar interferências, disposição das paredes, disposição de portas e janelas, distância percorrida pelo sinal, etc, num ambiente doméstico geralmente não são levados em conta estes aspectos.

Apesar da variedade de roteadores *wireless* existente no mercado, de diferentes fabricantes e com diferentes taxas e potências de transmissão, o problema de alcance de sinal existirá à medida que se tenha a necessidade de aumentar a distância entre a fonte de transmissão e os receptores. A relação de que quanto maior a distância, menor a intensidade do sinal que chega no receptor é válida em todos os casos, não importando a potência de transmissão de um determinado roteador. O que um roteador mais potente faz, num caso como esse, é diminuir a taxa de perda do sinal em relação ao que diminuiria com um roteador menos potente, mas o problema da atenuação persistirá.

Embora já existam hoje no mercado diferentes soluções que tratam de qualidade de sinais em redes sem fio, a pesquisa por soluções novas, e quais delas são viáveis em cada situação, deve ser uma constante. O importante é que todas as soluções e pesquisas na área devem contribuir para uma melhor seleção das tecnologias que serão adotadas em larga escala. Seguindo esse raciocínio, muitas redes locais sem fio contam com pontos de acesso com propriedades de amplificar o sinal recebido e passá-lo adiante. As soluções para alcance de sinais são das mais diversas existentes hoje em dia.

Nesse contexto, nos últimos três ou quatro anos, confeccionou-se um novo tipo de cabo coaxial, pouco conhecido ainda hoje, mas que poderia contribuir bastante para esse problema de atenuação de um sinal sem fio. Esse cabo,

denominado cabo irradiante ou cabo de antena irradiante, tem a capacidade de conduzir o sinal ao longo de seu comprimento, transmitindo através de orifícios espalhados pelo cabo. Com o objetivo de preservar o sinal de celular em locais fechados e não muito receptivos ao ambiente externo, o cabo irradiante conduz o sinal para um ambiente *indoor*, sem perda significativa de qualidade. Sua utilização oficial até hoje se restringe aos túneis rodoviários, metrô e subsolos, habilitando o sinal de celular para estes lugares.

## **1.1 Justificativa**

Num contexto onde a informação é o principal ativo de qualquer organização, a capacidade de disseminá-la é cada vez mais relevante. Dessa forma, as redes sem fio se apresentam como candidatas naturais a serem a principal infra-estrutura para o transporte desse bem, seja pela facilidade, seja pela flexibilidade propiciada.

A despeito disso, há inconvenientes a serem superados, onde o curto alcance é, evidentemente, um dos principais. A proposta aqui apresentada vai ao encontro de uma expectativa crescente de melhorias que possibilitem um emprego mais abrangente dessa tecnologia, o que justifica a importância deste trabalho.

## **1.2 Objetivo Geral**

O projeto tem como objetivo principal analisar a viabilidade da utilização de cabos irradiantes em redes locais sem fio. Para esse fim, é necessário montar e configurar uma WLAN com um ponto de transmissão confeccionado para atuar com o cabo irradiante. O cabo irá atuar como a antena transmissora do roteador.

## **1.3 Objetivos Específicos**

Para a consecução do objetivo geral, foram elencados os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a cobertura do sinal e o tempo de resposta para uma aplicação na rede em diferentes pontos do ambiente de análise para o correto entendimento do funcionamento do cabo irradiante;
- Observar a variação do nível de recepção de uma rede sem fio indoor com e sem o emprego do cabo irradiante;
- Estudar a melhor configuração física do ambiente para utilização do cabo irradiante como antena transmissora;
- Analisar a qualidade e uniformidade do sinal de uma rede sem fio para dispositivos situados em diferentes ambientes e distantes um do outro, e a variação de desempenho e taxa de transferência de pacotes;

#### **1.4 Estrutura da Monografia**

O trabalho está organizado da seguinte forma:

- O capítulo 2 apresenta o referencial teórico;
- O capítulo 3 descreve a infra-estrutura utilizada no projeto;
- O capítulo 4 traz a implementação e o desenvolvimento do panorama de utilização do cabo irradiante; os procedimentos, cenários montados e testes realizados.
- O capítulo 5 versa sobre a análise dos testes, resultados e problemas encontrados.
- Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões e sugestões de projetos futuros.

## **CAPÍTULO 2. O AMBIENTE 802.11 E A TRANSMISSÃO SEM FIO**

---

### **2.1 Os Modelos OSI e TCP/IP**

A transmissão de dados utiliza modelos de infra-estrutura previamente estudados para atender determinadas aplicações. Este tópico abordará brevemente os modelos OSI e TCP/IP de estruturação de uma rede e sua camada física, e nos tópicos seguintes será abordado de forma geral o padrão 802.11, padrão este amplamente adotado para as comunicações Wi-Fi, mais especificamente o padrão 802.11g, que será o estudado no trabalho por ser o de utilização mais comum nas redes wireless atuais.

Com o surgimento cada vez mais rápido de dispositivos sem fios, fez-se necessária uma padronização que atendesse de forma universal as diversas diferenças que acompanham os equipamentos de diferentes fabricantes, além de uma padronização para a forma de comunicação entre esses dispositivos.

A Organização Internacional de Padronização (ISO) aprovou, na década de 80, o modelo conhecido atualmente como modelo OSI, que é um modelo de referência para padronização na comunicação entre máquinas (computadores) com tecnologias diferentes. Este modelo abrange todo um conjunto de regras implícitas, necessárias para que haja uma linguagem comum na forma dos equipamentos se comunicarem entre si.

Esses equipamentos apresentam basicamente as seguintes diferenças (SANCHES; 2005, p. 215):

- Processador Central
- Velocidade
- Memória
- Dispositivos de armazenamento
- Interfaces para comunicações

- Sistemas Operacionais

Em sua estrutura, o modelo OSI é conhecido pela divisão em 7 camadas ou níveis. Para o escopo do presente trabalho, a camada 1 será a de importância, visto que, como o próprio nome já define, é a camada física e trata da ligação física entre os computadores e ativos de rede, seja através de cabos (rede cabeada) ou outro meio como a RF (rede sem fio).

De acordo com (SANCHES, 2005) "Nessa camada são definidos os padrões do sistema de RF das redes 802.11, ou seja, a faixa de frequência, modulação, potência, taxa de transmissão, etc".



Figura 2.1 - Estrutura do Modelo OSI (MSPC, 2008)

O Modelo OSI atualmente é um modelo usado praticamente com fins didáticos e acadêmicos. Nos projetos de redes reais, na prática, o modelo TCP/IP é o modelo em camadas de rede definido como o que melhor representa a estrutura de funcionamento das redes de computadores que temos hoje.

O modelo TCP/IP foi desenvolvido por volta de 1974, pelo departamento de defesa dos EUA (MSPC, 2009). Em termos de conteúdo é praticamente o mesmo do modelo OSI, porém sua estrutura difere um pouco. Ele é dividido em quatro

camadas, que desempenham a mesma função das camadas correspondentes no modelo OSI, de acordo com a figura 2.2.

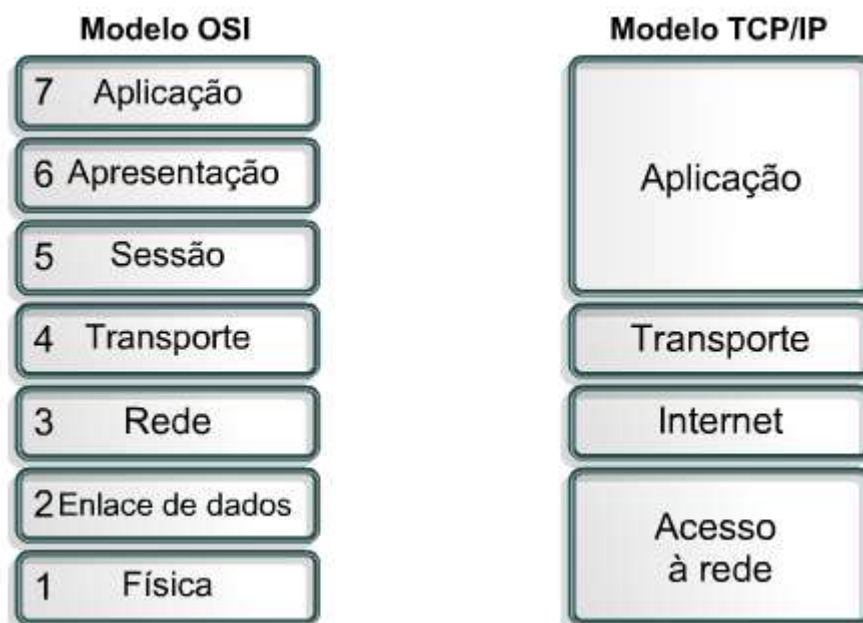


Figura 2.2 – Modelo OSI x TCP/IP (Under Linux, 2009)

A camada 1 do TCP/IP, denominada acesso à rede, corresponde às camadas 1 e 2 do modelo OSI. As mesmas funções são desempenhadas nessas camadas correspondentes, assim como a camada denominada aplicação do TCP/IP têm as mesmas funções correspondentes das camadas 5, 6 e 7 do modelo OSI, respectivamente sessão, apresentação e aplicação. A camada de Internet corresponde à camada de rede, só diferindo no nome, e a camada de transporte corresponde à camada 4 do OSI, ambas com o mesmo nome.

A nível de transmissão de rede, este trabalho usa as camadas de *Acesso à Rede* e *Internet* do modelo TCP/IP. A *camada de Acesso à Rede* trata especificamente das propriedades de transmissão nos meios físicos e das especificações de comunicação da rede, tanto cabeadas como sem fios. Por usar protocolos que tratam de IP e roteador, o projeto também inclui a camada de Internet, ou *camada de Rede* no OSI.

## 2.2 O Protocolo ICMP e o Comando PING

O protocolo ICMP é um protocolo de controle de mensagens. Um tipo de mensagem do ICMP é o famoso *ping* (Packet Internet Groper).

O ping é uma ferramenta fundamental para verificar se um computador está funcionando na rede e se as conexões de rede TCP/IP estão intactas. Ele verifica a conectividade de nível IP com outro computador através do envio de mensagens de solicitação de eco de protocolo ICMP (Internet Control Message Protocol). A confirmação das mensagens de resposta é exibida juntamente com o tempo de ida e volta (BIAGIO, 2009).

Nas comunicações de rede o protocolo ICMP desempenha um papel de controle, e é parte integrante do protocolo IP. O protocolo IP é um protocolo da camada de Internet do modelo TCP/IP. É um protocolo sem conexão e não verifica erros nos dados. Essa verificação é feita pelas camadas superiores, como as camadas de transporte e aplicação. A verificação completa de erros, bem como estabelecimento de um link de conexão entre dois hosts numa rede, controle de envio de quadros e confirmações de recebimento são feitas pelo protocolo TCP na camada de transporte. O ICMP, da camada de aplicação, tem a função específica do controle de mensagens no sentido de reportar erros de uma mensagem não enviada, ou, no caso deste trabalho, usado para testar conectividade entre dois ativos de rede através de suas mensagens de *Echo*.

O tipo de mensagem ping é denominado *Echo Request* e *Echo Reply* (Carlos Henrique, 2009), e refere-se justamente ao pacote de requisição (*request*) e resposta (*reply*) a que o comando ping abrange. O tempo contado entre o envio do pacote ping, o recebimento dele pelo host na rede e o envio de uma resposta avisando o recebimento, é chamado de tempo de resposta. Por esse motivo, o comando ping é um comando simples e eficaz quando se deseja testar uma conexão entre dois hosts.

Para se “pingar” um ponto da rede, executamos o comando:



- *ping endereço IP de destino*

Por padrão, serão exibidos 4 solicitações de transmissão com 32 bytes cada. O comando pode ser acompanhado de diversos parâmetros que alteram sua propriedade, como quantidade de solicitações enviadas, tamanho da solicitação (tamanho máximo é 65.527 bytes), que serão tratados no capítulo de implementação deste projeto.

### 2.3 Os Padrões IEEE 802.11

No início da década de 90, a preocupação com as conexões wireless levou o IEEE a especificar um novo padrão de desenvolvimento destinado para as conectividades sem fio, quando estas começaram a crescer e tomar espaço cada vez maior no mercado mundial de TI. O padrão 802.11, de início sem sigla alguma ao final do número, foi o padrão desenvolvido pelo IEEE para esse fim, e após sete anos, em 1997, foi de fato aprovado. Inicialmente, suas taxas de transmissão atingiam 1 e 2 Mbps, mas rapidamente surgiram variações desse padrão, com diferentes taxas de transmissão e frequência de operação.

A partir de 1999, o IEEE intensificou o trabalho de aprovação de novos padrões para redes sem fios, sendo que teve uma evolução contínua a cada ano, até 2006. A Tabela 2.1 mostra algumas características de taxa de transmissão e frequência dos três principais padrões 802.11 para as redes wireless.

Tabela 2.1 - Alguns Padrões IEEE 802.11 (Oliveira, 2008)

Padrão	Taxa de Transmissão	Frequência
802.11a	54 Mbps	5 GHz
802.11b	11 Mbps	2.4 GHz
802.11g	54 Mbps	2.4 GHz

De acordo com (Sanches, 2005) "O protocolo IEEE 802.11 é um padrão de comunicações que define o uso dos dois níveis mais baixos da arquitetura OSI (camada Física e de Enlace de Dados), especificando suas normas de funcionamento em uma WLAN".

E de acordo com (Soares, 1995) "Ao desenvolver a família do protocolo 802.11, o IEEE tinha como objetivo "definir um nível físico para redes onde as transmissões são realizadas na frequência de rádio ou infravermelho".

Dessa forma, os ambientes que utilizam conexão Wi-Fi tendem a se tornar cada vez mais comuns com os protocolos que o padrão 802.11 abrange. Apesar da Tabela 1 citar apenas três, que atualmente são os mais comuns, já existem diversas variações para as mais variadas aplicações sem fios. A título de curiosidade, segundo (Sanches, 2005) em meados de 2008 o IEEE finalizou o mais novo padrão da família 802.11, o 802.11r, destinado à otimização de sistemas que utilizam telefonia móvel sobre IP, em redes sem fios.

As redes 802.11 operam no modo Half-Duplex, que é o modo de operação onde se é transmitida a informação em ambos os sentidos (sentido transmissor e receptor) sob o mesmo caminho, que neste caso são as frequências de operação. Por exemplo, um Access Point configurado no canal 6 utilizando frequência de 2.4 GHz, irá transmitir e receber de cada vez as informações das redes 802.11b e 802.11g, que utilizam mesma frequência (2.4GHz). Portanto, a transmissão e recepção ocorrem em tempos distintos.

O IEEE ratificou o padrão 802.11g em junho de 2003. Apesar de utilizar a mesma faixa de frequência do 802.11b, que é de 2.4 GHz ou 2400 MHz, o 802.11g opera a uma velocidade de até 54 Mbps. Essa velocidade de 54 Mbps é teórica, como um indicador do que o padrão pode alcançar. Na prática, os dispositivos operam sempre numa velocidade efetiva menor, que para o padrão 802.11g é em torno de 26 Mbps.

Por ser de frequência compatível com o padrão 802.11b, em redes que utilizam nós desses dois padrões juntos há uma redução significativa de velocidade,

devido à inserção de tráfego extra na rede, o que não aconteceria se utilizássemos o 802.11g juntamente com nós 802.11a, por exemplo.

A tabela 2.2 apresenta as frequências suportadas no padrão 802.11g para cada canal, assim como sua adoção em alguns países e a respectiva agência reguladora. O "x" indica que essa frequência pode ser utilizada no respectivo país.

Tabela 2.2 - Canalização do padrão 802.11g (SANCHES, 2005)

Canal	Frequência	Brasil ANATEL	Europa ETSI	Canadá IC	EUA FCC	Japão MPHPT
1	2412	x	x	x	x	
2	2417	x	x	x	x	
3	2422	x	x	x	x	
4	2427	x	x	x	x	
5	2432	x	x	x	x	
6	2437	x	x	x	x	
7	2442	x	x	x	x	
8	2447	x	x	x	x	
9	2452	x	x	x	x	
10	2457	x	x	x	x	
11	2462	x	x	x	x	
12	2467	x	x			
13	2472	x	x			
14	2484					x

A tabela 2.3 apresenta as características principais da camada física - o meio de transmissão - do 802.11g. A taxa de dados se refere à velocidade de transmissão que esse protocolo pode suportar; a largura de banda ocupada por canal e o espaçamento entre canais são medidos em unidades de frequência, e significam a parte da largura de banda total ocupada, que nesse caso é o que cada canal ocupa mais o espaçamento entre eles.

Tabela 2.3 - Principais Parâmetros da Camada Física - 802.11g (SANCHES; 2005)

Taxa de Dados	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 e 54 Mbps
Largura de banda ocupada por canal	22 MHz
Espaçamento entre canais	5 MHz
Quantidade de canais possíveis no Brasil	13

Como a largura de banda de cada canal em 2,4 GHz é de 22 MHz e o espaçamento entre cada canal é de 5 MHz, nós temos uma sobreposição de vários canais entre si, havendo apenas três deles não sobrepostos, o 1, 6 e 11, desde que seja considerado o uso apenas de equipamentos que sigam as regras da FCC, que são os mais comuns no Brasil (SANCHES, 2005).

## 2.4 Sistemas de Comunicação via Rádio

Um sistema de comunicação é um sistema que tem por finalidade transportar a informação da fonte até o destino, preservando ao máximo as suas características originais. Estas características originais, dependendo do que se transmite, podem ser uma mensagem de voz, uma simples mensagem de texto, um quadro de vídeo, etc. Por esta razão, uma mensagem de som ou vídeo geralmente apresenta mais erros ou lentidão do que uma mensagem de texto, pois, nesse caso, preservar as características originais de uma mensagem é mais difícil. Os elementos de um sistema de comunicação são basicamente o transmissor, o receptor, e o meio de transmissão, apesar de sempre haver um protocolo para comunicação e a própria mensagem enviada.

De acordo com (Nascimento, 2000) "O meio de transmissão é responsável pelo transporte do sinal do transmissor até o receptor, sendo, com certeza, o elemento que, isoladamente, exerce maior influência sobre o desempenho de um sistema de comunicação".

Com isso, pode-se avaliar a importância que o meio de transmissão exerce no presente trabalho. A figura 2.3 mostra esses elementos e como se relacionam entre si no ato da comunicação.

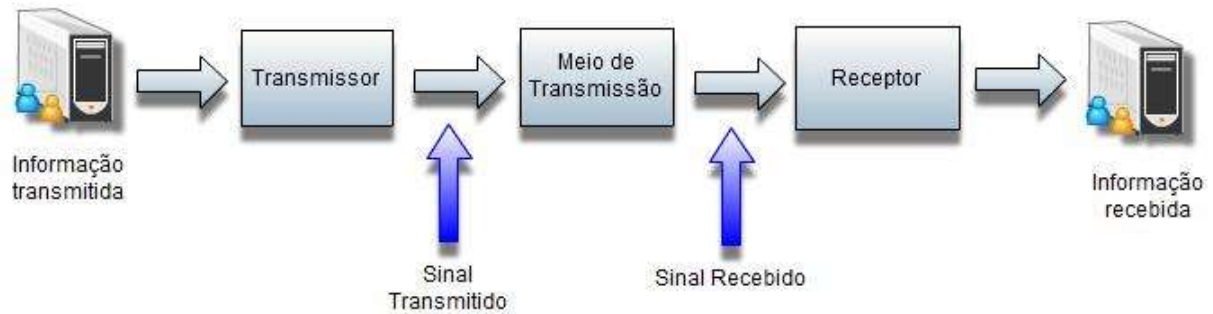


Figura 2.3 - Elementos de um Sistema de Comunicação (NASCIMENTO, 2000)

Enquanto num sistema de comunicação via cabo, como o próprio nome indica, é usado um cabo condutor como meio de transmissão, numa comunicação via rádio são utilizadas ondas eletromagnéticas. As ondas eletromagnéticas facilitam a implantação desse tipo de sistema, pois, como possuem a propriedade de irradiarem-se pelo meio (o ar, por exemplo), elas não necessitam de providências no meio físico para instalação, tais como reforma em paredes e colocação de cabos.

Para o escopo do presente projeto, é importante salientar que em sistemas via rádio a confiabilidade e desempenho dependem principalmente, como já mencionado, do meio de transmissão (ondas eletromagnéticas). A figura 2.4 apresenta os elementos no caso de um sistema via Rádio.

Cada estação é composta por um equipamento de rádio, uma linha de transmissão e uma antena. A função dos equipamentos de rádio é, no caso do transmissor, gerar sinais de radiofrequência e, no caso do receptor, recebê-los; da linha de transmissão é conduzir o sinal de radiofrequência do transmissor até a antena, ou da antena até o receptor. Finalmente, a função da antena é gerar ou captar ondas eletromagnéticas". (NASCIMENTO, 2000).

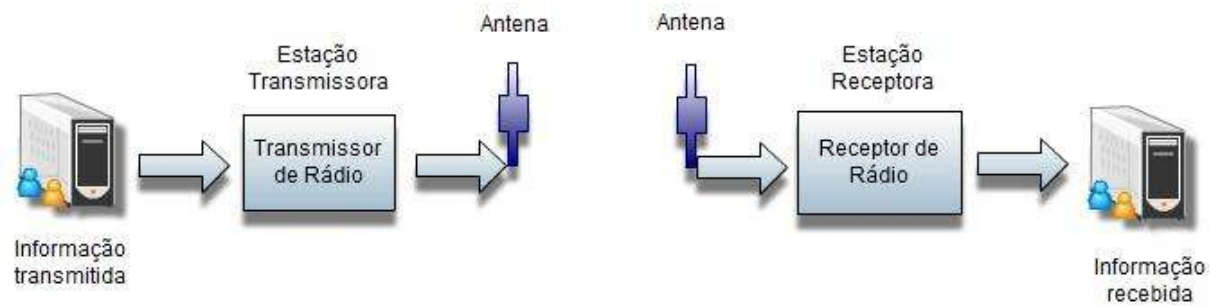


Figura 2.4 - Elementos de Sistema de Comunicação via Rádio (NASCIMENTO, 2000)

## 2.5 Elementos de Transmissão

No funcionamento de uma WLAN, um conjunto de componentes importantes forma o panorama da transmissão do sinal wireless. Em particular, no presente trabalho os componentes mais comuns atuam paralelamente com componentes específicos que, juntos, formam o hardware completo de transmissão. Este tópico objetiva a explicação de cada um desses componentes.

### 2.5.1 Roteador Wireless

Um roteador wireless, também chamado de *router* sem fio ou *access point*, é basicamente um roteador doméstico com uma interface de atuação num meio de transmissão sem fio. Embora ele seja mais complexo, comumente é confundido com um access point pela função de espalhar o sinal. A diferença entre um router sem fio e um access point é que o access point aproveita uma conexão já existente, geralmente quando já se tem um roteador atuando na rede; e o router sem fio é o próprio roteador de uma rede específica, em que ele gerencia (interliga com uma rede externa) através do ambiente wireless.

Seu papel principal é transformar o sinal elétrico recebido por um cabo em ondas eletromagnéticas, que serão transmitidas através de sua antena. Existem diversos fabricantes com especificações de frequência, potência de transmissão,

alcance de sinal e principalmente velocidades de transmissão diferentes, além de diferentes padrões 802.11.

De acordo com (TIPLER, 1999) “Potência é a grandeza que determina a quantidade de energia concedida por uma fonte a cada unidade de tempo. Em outros termos, potência é a rapidez com a qual uma certa quantidade de energia é transformada”.

No caso de potência de transmissão de roteadores, ou mais especificamente da antena do roteador, o termo potência se refere à "força" com que o sinal entra no caminho de transmissão. A potência de transmissão de uma antena, ou qualquer fonte de transmissão de sinais, é medida em dBm (decibel miliwatt).

No caso da potência de transmissão, o parâmetro de comparação é um sinal de 1 milliwatt. Dentro da escala, um sinal de 1 milliwatt corresponde a 0 dBm. A partir daí, cada vez que é dobrada a potência do sinal, são somados aproximadamente 3 decibéis, já que dentro da escala, um aumento de 3 decibéis corresponde a um sinal duas vezes mais forte, da mesma forma que temos com o som (Morimoto, 2008).

A tabela 2.4 apresenta os valores em dBm para potências de transmissão, e sua respectiva potência real em miliwatts. O presente projeto faz uso de um roteador com potência de transmissão de 15 dBm, ou 31.6 miliwatts.

Tabela 2.4 - Correspondência entre dBm e miliwatt (Morimoto, 2008)

dBm	Miliwatts
0	1
3	2
6	4
9	7.9
12	15.8
15	31.6
18	61.1
21	125.9
24	251.2
27	501.2
30	1000
60	1000000

Os roteadores sem fio, em geral, são equipamentos que possuem antena externa conectada a eles. Isso é especialmente importante para este projeto, pois, em geral, existem vários dispositivos sem fios que possuem antena interna embutida e isso torna impossível trocá-la sem alterar as propriedades de transmissão do dispositivo. No caso do roteador D-Link, que é o roteador usado no desenvolvimento do projeto, a antena externa pode ser facilmente desconectada.

Normalmente, em um ambiente de escritório pequeno ou domiciliar, a maioria dos roteadores sem fios utiliza antenas omnidirecionais, ou seja, antenas que transmitem os sinais em todas as direções numa mesma proporção. Isso acaba por reduzir o alcance das comunicações, pois não há o direcionamento do sinal para determinados pontos.

### 2.5.2 Antena e Largura de Banda

A antena é um dos principais elementos para um desempenho de qualidade boa num sistema sem fio. Sua função, como mencionado no caso dos roteadores



wireless, é promover a transição de energia de um meio confinado, como o cabo coaxial que é ligado no roteador wireless (no caso de uma WLAN) para o espaço livre (o ar). O caminho de volta também é desempenhado pela antena, ou seja, capta a energia (sinal) do ar e a transfere para um meio confinado. É importante mencionar que as antenas não têm o papel de amplificar sinais durante sua transmissão; elas apenas direcionam a energia, para o ar no caso dela estar atuando como transmissor, ou para o meio confinado no caso dela estar atuando como receptor.

As antenas trabalham igualmente para transmitir ou receber os sinais (reciprocidade). Por exemplo, ao medir os padrões de radiação de uma antena em uma determinada faixa de teste, a antena pode transmitir ou receber as ondas de rádio (SANCHES, 2005).

A antena é tão importante numa rede sem fio que, é possível minimizar interferências e ampliar ou reduzir áreas de cobertura em escala pequena. Dessa forma, sua função é primordial em qualquer comunicação onde exista radiofrequência.

Uma faixa de frequência na qual uma antena pode operar com desempenho satisfatório é denominada largura de banda. Por definição, a largura de banda é a quantidade de dados que pode trafegar num meio, por um determinado período de tempo. Numa rede sem fio, as faixas de frequências operáveis definirão a largura de banda possível para aquela rede.

A largura de banda pode ser definida por características-padrão intrínsecas a uma antena, tal como o ganho.

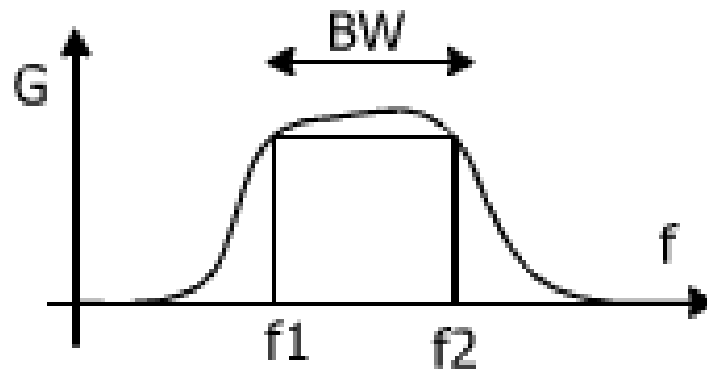


Figura 2.5 - Largura de Banda de uma Antena (Electrónica, 2008)

A figura 2.5 representa a largura de banda (band wise ou BW, em inglês) de uma antena, definida geometricamente entre uma determinada frequência 1 ( $f_1$ ) e uma determinada frequência 2 ( $f_2$ ) na qual essa antena pode operar satisfatoriamente. Um desempenho satisfatório pode ser entendido como aquele no qual não há perdas abruptas da qualidade do sinal ou não há a falta do sinal. A band wise ou largura de banda de uma antena num sistema sem fio está em função da frequência ( $f$ ) e do ganho ( $G$ ).

O FCC, órgão internacional que cria as regras dentro das quais os dispositivos WLAN devem operar, especificou que a faixa de banda chamada ISM (Industrial, Médica e Científica) deve ser a faixa padrão nos dispositivos wireless em redes locais.

Para as ondas de rádio, as faixas de frequência são reservadas para aplicações específicas, por exemplo, a faixa 2,4 do ISM está entre 2.400 MHz e 2.483MHz, logo as antenas devem operar satisfatoriamente em qualquer frequência dentro desta faixa. (SANCHES, 2005).

E segundo (Battisti, 2008) "As bandas ISM estão localizadas começando em 902 MHz, 2.4 GHz e 5.8 GHz e variam na largura em torno de 26 a 150 MHz".

Neste trabalho, pelo fato do ambiente de desenvolvimento do projeto ser o 802.11g, a banda importante é a ISM de 2,4GHz. Esta banda é usada por todos os dispositivos compatíveis com 802.11, 802.11b e 802.11g. A banda é definida na faixa de frequências de 2.4 a 2.5 GHz com largura de 100 MHz.

#### **2.5.2.1 Diretividade e Ganho**

Uma outra característica que é de grande importância para se avaliar uma antena e será fundamental na elaboração do presente trabalho é o ganho. O ganho é a capacidade que uma antena tem de focar o sinal eletromagnético em uma determinada direção. É uma grandeza medida em dBi (decibéis isotrópicos).

Em ambientes outdoors com antenas de abertura, o ganho pode ser medido em uma relação com a abertura da antena; porém em ambientes indoors as antenas quase sempre são omnidirecionais e sem abertura.

O ganho é tão importante que, numa antena de maior ganho, é melhorado tanto o envio quanto a recepção, enquanto uma maior potência melhora apenas a transmissão.

O ganho de uma antena expressa uma relação com uma antena de referência. A relação

$$\text{dBi} = 10 \log (P / P_i) \quad (\text{Eq. 2.1})$$

expressa o ganho em dBi de uma antena de potência P em relação á uma potência de uma antena isotrópica ( $P_i$ ).

#### **2.5.2.2 Diagrama de Irradiação**

A característica mais importante de uma antena é a descrição da energia irradiada no espaço. A irradiação, ou radiação como também pode ser chamada, é o

ato de irradiar a energia no espaço ao seu redor. Apesar de existirem diversos tipos de antena, o fenômeno ocorre de forma semelhante para todas.

A fim de se obter uma informação documentada da característica de irradiação de uma antena, é traçado um diagrama de irradiação. Um diagrama de irradiação é um mapeamento espacial da distribuição da energia irradiada, levando-se em conta o espaço tridimensional. Ele é a representação gráfica da energia irradiada em um determinado plano.

Para o presente projeto, o método de obtenção do diagrama de irradiação será através de softwares especializados para cobertura de ambientes fechados.

### **2.5.3 Cabo Coaxial**

Nas redes cabeadas, a principal função do cabo de conexão é transportar o sinal com um mínimo de degradação possível. Entre os tipos de cabos usados nos projetos de redes cabeadas, o de interesse para este trabalho é o cabo coaxial.

Um cabo coaxial consiste em um condutor de cobre central (um fio sólido ou torcido, sendo que sólido é a melhor opção para redes), uma camada de isolamento flexível, uma blindagem com uma malha ou trança metálica e uma cobertura externa. (DERFLER, 1993).

O termo coaxial surgiu devido ao fato da malha de blindagem e o condutor central do cabo possuírem o mesmo eixo.

O cabo coaxial possui algumas vantagens em relação ao uso de outros cabos para redes de computadores. Sua principal vantagem é uma menor inclinação às interferências externas magnéticas e elétricas, devido à sua blindagem adicional. A blindagem acontece justamente na região do cabo onde se tem a malha metálica externa que envolve o condutor interno.

A figura 2.6 apresenta o esquema de um cabo coaxial, cortado para visualização de seu conteúdo.

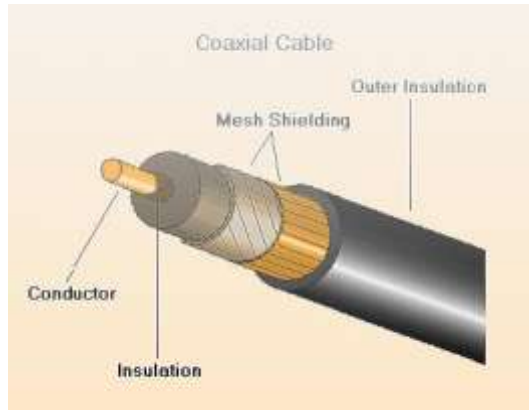


Figura 2.6 - O Cabo Coaxial (ESMF, 2008)

Da parte mais fina para a mais grossa, há o condutor por onde realmente o sinal é transmitido (este é um fio de cobre finíssimo); após tem-se a camada de plástico que envolve o condutor interno, e é chamada de dielétrico; logo após tem-se uma malha de metal que protege as duas camadas internas, e finalmente, uma nova camada de revestimento, chamada jaqueta. Como mencionado, a malha de metal juntamente com a jaqueta formam o conjunto de blindagem desse cabo contra interferências externas.

#### 2.5.4 Cabo Antena Irradiante

O cabo antena irradiante, cabo radiaflex como é chamado oficialmente, ou simplesmente cabo irradiante, é uma evolução do cabo coaxial, destinado à ambientes wireless, onde precisa-se de espalhamento de sinal no meio (ar).

Apesar de ser relativamente novo (surgiu há mais ou menos 3 anos) e ainda pouco conhecido no meio tecnológico e de telecomunicações, este cabo já é usado em aplicações como (Teleco, 2008):

- Túneis rodoviários, ferroviários, metrô e minas;

- Prédios corporativos, aeroportos, shopping centers, parques de exposição, etc;
- Em veículos como: navios, plataformas marítimas, trens, etc;

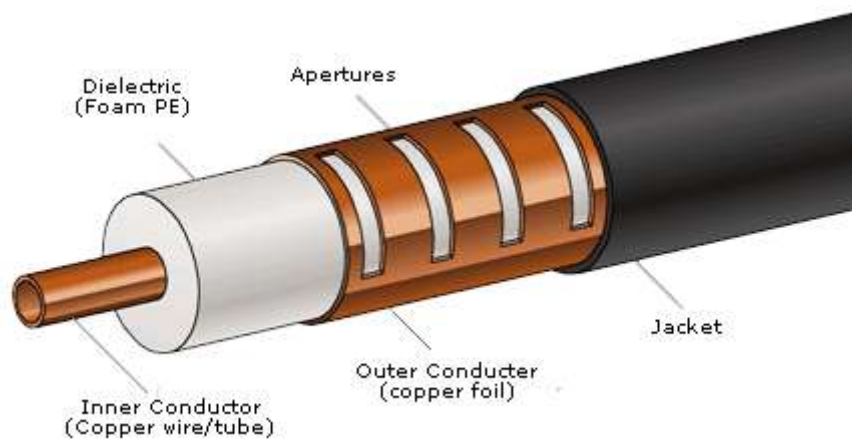


Figura 2.7 - O Cabo Irradiante (Teleco, 2008)

Este tipo de cabo coaxial tem o mesmo princípio de funcionamento do cabo coaxial comum; porém, enquanto o cabo coaxial comum é utilizado para transportar o sinal de um ponto até o outro, o cabo irradiante foi feito para atuar como uma antena. Essa aplicação é possível devido à existência de fendas no condutor externo (jaqueta), que possibilitam a entrada e saída de potência de RF. Além disso, seus elementos são os mesmos, desde o fio de cobre atuando como condutor do sinal, até a jaqueta que envolve a malha metálica. A única diferença entre os dois modelos, é que a malha metálica do cabo irradiante possui diversas fendas para irradiação do sinal.

As figuras 2.8, 2.9 e 2.10 mostram um sinal correndo em um cabo coaxial comum, e após, o princípio de espalhamento do sinal do cabo irradiante, tanto na transmissão do sinal (uplink) como na recepção (downlink).

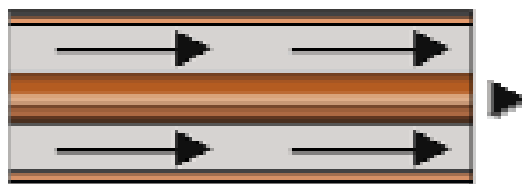


Figura 2.8 - Sinal de RF sendo transportado em cabo comum (Teleco, 2008)

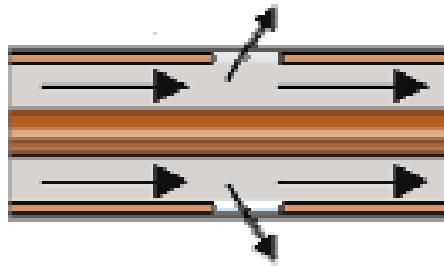


Figura 2.9 - Sinal de RF sendo transmitido através de um cabo irradiante (Teleco, 2008)

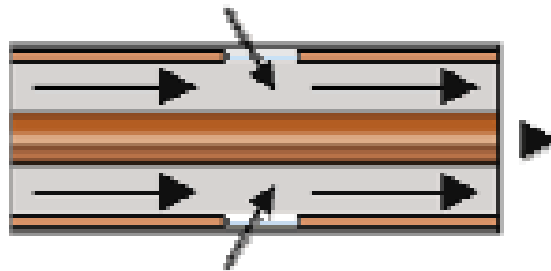


Figura 2.10 - Sinal de RF sendo recebido através de um cabo irradiante (Teleco, 2008)

Por fim, algumas de suas vantagens de utilização podem ser facilmente previstas, como um menor impacto visual, já que este cabo pode ser instalado atrás de forros, fundos falsos, coberturas. Dessa forma, evita-se a agressão visual deixada pela instalação de várias antenas num ambiente. Outra vantagem é a margem de serviços que podem ser transmitidos num só cabo, como AM, FM, e WLAN, este último objeto de estudo do presente projeto.

### 2.5.5 Conectores

Numa comunicação entre dois equipamentos, além do cabo estudado no transporte do sinal contendo a informação, deve haver um mini-dispositivo que faça a ligação física do cabo nos equipamentos que irão se conectar. Um conector é um dispositivo que efetua a ligação entre a porta de saída de um equipamento e a porta de entrada de outro (por exemplo, entre um computador e um periférico). No caso deste trabalho, o conector tem o papel de ligar um roteador a um cabo que será usado como antena.

Existem conectores machos (se apresentam pinos) e conectores fêmeas (se apresentarem orifícios onde se encaixam os pinos dos conectores machos); existem também vários tipos diferentes de conectores. Os mais conhecidos são os RCA que são geralmente utilizados para fazer a ligação entre aparelhos de TV, videocassetes, DVD Players, e até mesmo placas de vídeo de computadores. Também existe conectores de cabos de rede de computador, conectores VGA (mais utilizados para conectar a placa de vídeo de um computador a um monitor), conectores SVGA (também utilizados para conexão entre placas de vídeo de computadores e monitores, porém também pode conectar TV, projetores, DVD, etc)

Dessa forma, os conectores são responsáveis pelo elo de ligação, no caso das WLANs, entre os dispositivos que precisam de cabos para se comunicarem e os próprios cabos.

## **2.6 Ondas Eletromagnéticas**

Como já foi mencionado, o meio físico de transmissão é uma das principais características num sistema de comunicação, e é de importância fundamental para o funcionamento de uma rede de dados. Numa rede cabeada, este meio físico está relacionado, entre outros pormenores, com o tipo de cabo utilizado; como o sinal é conduzido através deles, levando-se em conta cada uma de suas propriedades.

Nas redes wireless, particularmente nas WLANs, o meio físico é o ar. Estudar a propagação do sinal nesse meio significa estudar a propagação de ondas eletromagnéticas, uma vez que o sinal se propaga através dessas ondas.

A comunicação através do rádio está relacionada com a existência de uma OEM (onda eletromagnética) interligando uma estação transmissora a uma ou mais estações receptoras. (...) A estação receptora é composta por uma antena, uma linha de transmissão e um receptor. A finalidade da antena receptora é extrair uma parte da energia da OEM e transformá-la em energia de radiofrequência, que



é conduzida através da linha de transmissão até o receptor, onde é devidamente processada. (NASCIMENTO, 2000).

As ondas eletromagnéticas abrangem a luz, as ondas de rádio, os raios x, os raios gama, as microondas e outros tipos de radiação. As diferentes ondas eletromagnéticas distinguem-se exclusivamente pelo comprimento de onda e pela frequência. (TIPLER; 1999).

No caso das WLANs, são as ondas de rádio na frequência estipulada pelo padrão em questão. Neste trabalho o protocolo de utilização é o 802.11g, como já mencionado anteriormente.

### **2.6.1 Propagação**

No aspecto físico, uma onda eletromagnética é uma combinação de um campo elétrico e um campo magnético, e esses campos se propagam numa mesma direção, porém em planos ortogonais (ângulo entre o campo magnético e o campo elétrico é de 90 graus).

Uma variação num campo elétrico induz a um campo magnético e vice-versa, numa onda eletromagnética o campo elétrico é gerado pelo campo magnético que por sua vez é gerado pelo campo elétrico, ambos se nutrindo num arranjo perfeito (Fisicom., 2008).

A figura 2.11 apresenta esse arranjo, onde o campo elétrico é representado por E e o campo magnético é representado por B, perpendiculares entre si e ao eixo x, que no caso é o eixo de direção de propagação da onda eletromagnética.

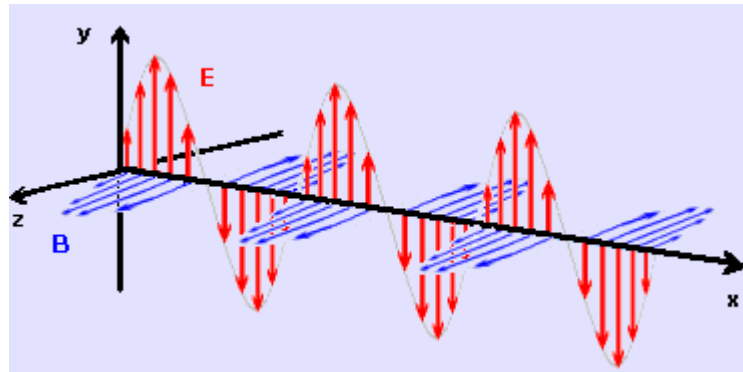


Figura 2.11 - Direção de Propagação de Ondas Eletromagnéticas - B x E (Fisicom., 2008)

No formato visual da onda num gráfico, a distância entre uma crista e outra consecutiva é chamada de comprimento de onda, representado por ( $\lambda$ ). A relação que se estabelece entre o comprimento de onda e a frequência é a seguinte:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

$c = 3 \times 10^8$  = velocidade da onda no vácuo em m/s

f = frequência da OEM, em Hz

Segundo (SANCHES, 2005) "O sinal irradiado por uma antena tem a forma geométrica de uma esfera, e à medida que se afasta do transmissor ele é propagado em esferas cada vez maiores e nesse caso é necessário tratar esse sinal como uma frente de ondas planas".

A figura 2.12 apresenta uma fonte de transmissão puntiforme direcional (esquerda) e uma fonte de transmissão puntiforme isotrópica (direita), e como seria a esfera de propagação.

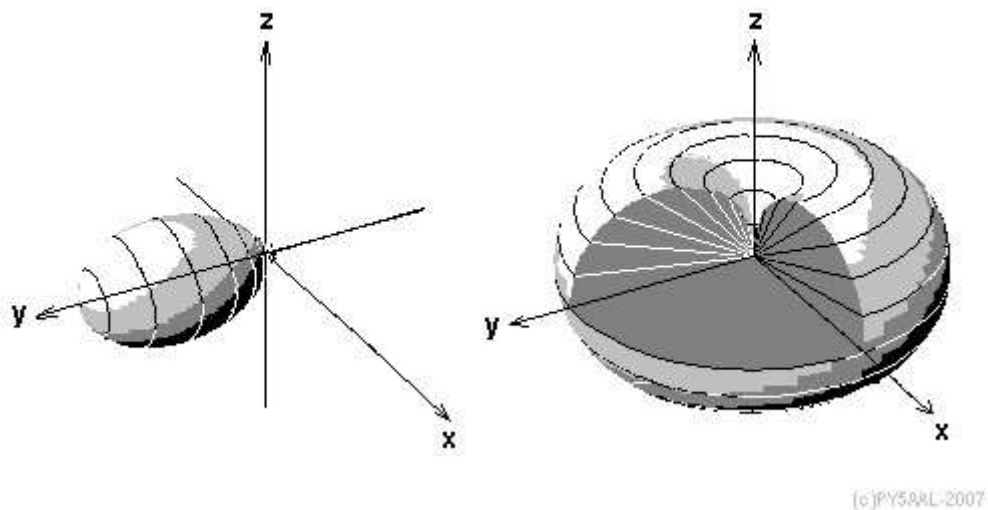


Figura 2.12 - Direção de Propagação - Esfera (0.Antena, 2008)

No espaço livre as ondas de rádio se propagam em "linha reta", o que quer dizer que nesse meio não ocorre influência de reflexão e refração. Isso é diferente do que ocorre num ambiente indoor de propagação a partir da antena do wireless router. Geralmente, esses ambientes são constituídos de obstáculos e interferências que influenciam em muitos as características das ondas transmitidas.

A tabela 5 apresenta uma classificação das ondas de rádio quanto à sua frequência. Pode-se observar que as ondas do protocolo 802.11g são classificadas no tipo UHF, com frequência de 2.4 GHz.

Tabela 2.5 - Classificação das Ondas de Rádio (NASCIMENTO; Juarez do, 2000, p.13)

SIGLA	FREQUÊNCIAS	ONDAS	FAIXAS DE FREQUENCIA
VLF	Muito baixas	Muito longas	3 KHz a 30 KHz
LF	Baixas	Longas	30 KHz a 300 KHz
MF	Médias	Médias	300 KHz a 3 MHz
HF	Elevadas	Curtas	3 MHz a 30 MHz
VHF	Muito elevadas	-	30 MHz a 300 MHz
<b>UHF</b>	<b>Ultra-elevadas</b>	-	<b>300 MHz a 3 GHz</b>
SHF	Superelevadas	Microondas	3 GHz a 30 GHz
EHF	Extremamente elevadas	Microondas	30 GHz a 300 GHz

### **2.6.2 Alcance das Emissões**

Em ambiente aberto, o alcance das emissões de rádio está relacionado, principalmente, com a frequência da onda eletromagnética, a potência empregada na transmissão e o tipo de antena empregada.

Os sinais das faixas de VHF, UHF e SHF, que são os sinais das WLANs, têm uma forma de propagação direta e forma o sistema denominado enlace por visibilidade, um sistema onde uma antena deve estar visível à outra. Dessa forma, constituem em geral os sistemas de transmissão indoor.

A potência de emissão pode ser pequena - de apenas alguns watts -, em virtude da reduzida intensidade de ruído (interferência) presente nas frequências superiores a 30 MHz e do ganho das antenas que, devido a suas dimensões mais reduzidas, facilita a utilização de elementos diretores, o que concentra a energia irradiada pela antena em uma direção definida. (NASCIMENTO, 2000).

Dessa forma, o alcance das emissões de WLANs em ambientes fechados se dará pela capacidade de ganho da antena e pela potência de transmissão. E já que neste tipo de sistema trabalha-se com distâncias reduzidas, a interferência não é elemento primordial para o cálculo do alcance das emissões de uma antena numa rede wireless indoor.

### **2.6.3 Fenômenos Nocivos à Propagação**

Os fenômenos que ocorrem durante uma transmissão de ondas de rádio podem ser classificados como nocivos ou favoráveis à propagação das ondas no ambiente. Este tópico esclarece uma visão geral do que seriam a atenuação e interferência, bem como os fatores que contribuem para a ocorrência de ambos.

### 2.6.3.1 Atenuação

Ao se tratar de atenuação de sinal nas redes sem fios, deve ser levada em conta a característica do ambiente. Atualmente, com a disseminação de redes wireless por aeroportos, faculdades e os ambientes abertos em geral, existe uma preocupação de atenuação do sinal devido à vegetação (um bosque, por exemplo).

Embora este trabalho trate dos aspectos em ambientes fechados, estes serão abordados em conjunto, e não separadamente. Dessa forma objetiva-se a análise geral das condições do ambiente para o projeto proposto, e não a influência separada que cada elemento de atenuação do sinal exerce numa rede sem fio, visto que não é este o foco do projeto.

Mas no caso dos sistemas fechados, a propagação de ondas eletromagnéticas é sem dúvida um assunto complexo. Um projeto de transmissão de sinais, seja numa WLAN ou qualquer fonte transmissora de ondas de rádio, que se encontre ao ar livre, é muito mais simples do que em sistema fechado, pela quantidade reduzida de fatores externos que influenciam o cálculo das grandezas de transmissão.

Dentre os fatores externos que colaboram para maior complexidade de cálculo nos sistemas indoor, o primeiro a ser mencionado é a distância. Em ambientes abertos, a distância é maior e não se tem obstáculos, como paredes, portas e móveis. É importante mencionar que quando se utiliza a expressão "ambiente aberto", esta se refere à um campo aberto, liso.

Além da distância, os outros fatores que colaboram para a complexidade de cálculo das ondas de rádios nos ambientes fechados, são os seguintes: (SANCHES; 2005, p.158)

- Múltiplos caminhos devido às reflexões nos objetos (incluindo paredes e pisos), especialmente em objetos metálicos, à difração e ao espalhamento do sinal;

- Atenuação da transmissão através de paredes, pisos e outros obstáculos;
- Canalização da energia;
- Ambiente dinâmico

Em sistemas WLANs fechados, os efeitos de atenuação por difração são compensados pela própria difração em si, o que torna possível o sinal chegar ao seu destino (efeito Huygens - isto só para ambientes indoor). Elementos secundários de atenuação do sinal também ocorrem, como por exemplo a circulação de pessoas e os materiais que compõem as paredes e pisos num ambiente.

Os sistemas WLAN (seqüência direta) trabalham com bandas de faixa larga e como grande vantagem disso, pode-se citar o fato de que, ao utilizar uma banda maior que a faixa dentro da qual ocorre o desvanecimento (...), o sinal experimenta desvanecimento seletivo em frequência, e, então, apenas uma fração das frequências que compõem toda a banda é afetada pelo desvanecimento. (SANCHES, 2005).

#### **2.6.3.2 Interferência**

Uma causa de degradação de sinal e um dos maiores problemas em desempenho de redes sem fios é a interferência. Basicamente, as interferências acontecem por dispositivos sem fios operando na mesma faixa de frequência e que se encontram dentro do raio de alcance da rede wireless; e por variações internas do próprio sistema da rede sem fio.

Para os dispositivos que operam na faixa de frequência da rede (no caso do protocolo 802.11g, esta frequência é de 2.4 GHz), estes são basicamente dispositivos Bluetooth, telefones sem fio e outros equipamentos WLAN. Nas casas e nos escritórios, um dispositivo frequentemente esquecido como fonte de interferência é o forno de microondas comum. Os telefones sem-fio que operam no espectro de 2,4 GHz também podem causar distúrbios na rede.

As interferências climáticas, como chuvas e relâmpagos, não são importantes para o escopo do trabalho, uma vez que se trata de análise num ambiente sem fio *indoor*. Para uma rede sem fio ao ar livre, seriam de importante consideração.

#### **2.6.4 Mecanismos de Propagação**

Este tópico classifica os principais fenômenos naturais que contribuem para a propagação das ondas num ambiente acidentado, como é a própria natureza, e principalmente num ambiente de propagação indoor onde se tem paredes, portas, móveis e pessoas circulando no local.

##### **2.6.4.1 Reflexão**

Um fenômeno comum que acontece com ondas eletromagnéticas, ou de radiofrequência como é o caso neste trabalho, é a reflexão. Numa WLAN fechada (ambiente fechado), a difração e reflexão são as principais propriedades de ondas que interferem na diferença de sinal entre o transmissor e o receptor.

Reflexão é o fenômeno que ocorre quando uma onda incide sobre um objeto que tem dimensões muito largas quando comparado ao comprimento de onda dessa onda. Prédios, paredes e muitos outros obstáculos podem causar reflexões. Dependendo da superfície do obstáculo, o sinal refletido pode permanecer intacto ou sofrer perda devido a absorção de parte do sinal (BATTISTI, 2008).

A figura 2.13 apresenta uma onda (sinal RF) sendo refletida numa superfície.

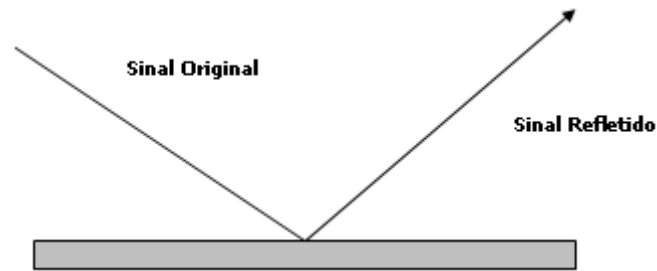


Figura 2.13 - Reflexão de Sinal RF (Julio Battisti, 2008)

#### 2.6.4.2 Refração

Refração é o desvio que uma onda sofre ao passar através de um meio de densidade diferente. No estudo de física, tem-se diferentes índices de refração para diferentes tipos de elementos que a onda atravessa. Sua direção de propagação é alterada dependendo do valor do índice de refração.

Numa rede wireless indoor, a refração ocorre frequentemente numa situação onde o transmissor encontra-se numa sala com a porta fechada, e o receptor do lado de fora dessa sala. Quando uma onda atravessa um meio de densidade diferente daquele onde ela se encontra, parte da onda é refletida e parte é refratada. Daí vem a ligação da refração com o fenômeno da reflexão.

A figura 2.14 ilustra a reflexão e refração ocorrendo simultaneamente, quando a onda atinge um meio de densidade diferente.

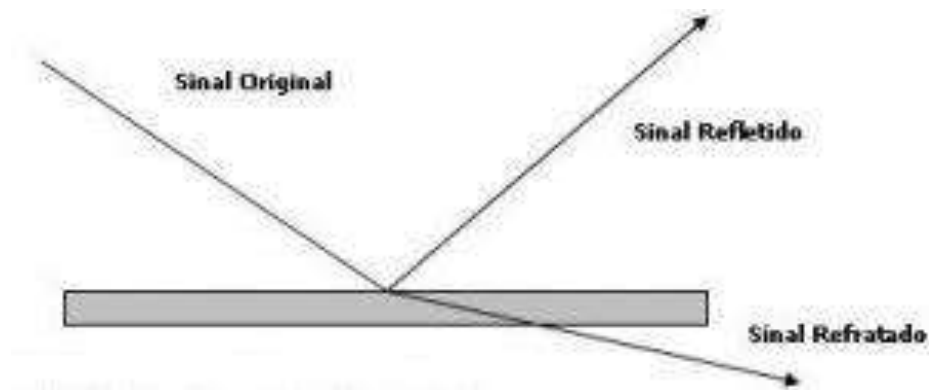


Figura 2.14 - Refração de Sinal RF (Julio Battisti, 2009)



Para um meio com índice de refração  $N_1$  e outro meio com índice de refração  $N_2$ , obtêm-se o ângulo limite da trajetória da onda ao atravessar esses dois meios, através da relação

$$\text{Sen } L = N_{\text{menor}} / N_{\text{maior}} \quad (\text{Eq. 2.3})$$

$L$  = ângulo limite traçado pelo desvio da onda

$N$  = índice de refração do meio, menor ou maior dependendo do meio em questão.

#### 2.6.4.3 Difração

É através da difração que o sinal de RF pode transitar entre transmissor e receptor num sistema de comunicação via rádio, sem uma linha padrão. Por exemplo, num ambiente indoor, a difração ocorre quando a onda é limitada, em seu avanço, por um objeto opaco que deixa passar apenas uma fração da frente de ondas.

Quando uma frente de onda toca em um obstáculo, dá origem a uma sombra, cujo contorno não é claramente definido, e sua extensão é uma função do comprimento de onda. Ainda que a força do campo recebido caia rapidamente à medida que o receptor entra em uma região de sombra, causada pelo obstáculo que impede a linha de visada entre o transmissor e receptor, o sinal difratado ainda existe e, freqüentemente, tem força suficiente para produzir um sinal útil. (SANCHES, 2005).

Dessa forma, o que acontece é que a porção de onda difratada "ajuda" a formar uma nova porção de onda combinada com a porção de onda restante após o choque com um obstáculo e conseqüente fenômeno da difração. Essa nova porção de onda formada tem a mesma velocidade, freqüência e comprimento de onda, sendo dessa forma encarada pelo receptor como parte da onda transmitida originalmente. Este é o princípio de Huygens para ondas difratadas, de acordo com a figura 2.15.

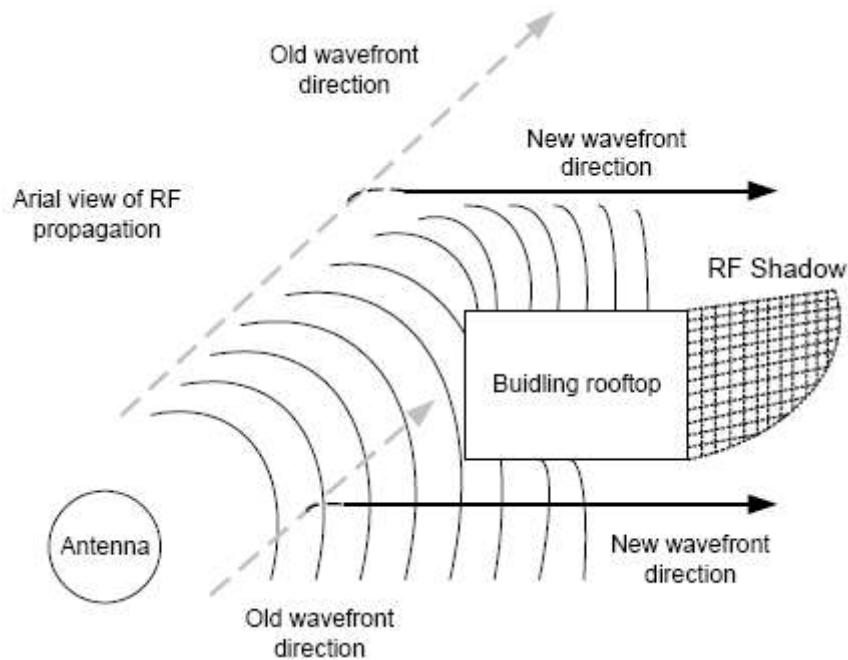


Figura 2.15 - Difração de Sinal RF (CerComp, 2008)

## 2.7 Modelos de Predição em Ambientes Fechados

Em ambientes fechados existe diferença para predição do comportamento do sinal, em relação à ambientes abertos. O objetivo é o mesmo nos dois casos; porém, nos sistemas indoor há a dependência notável da geometria de edifícios e disposição de obstáculos no ambiente, que dificultam o processo de predição da propagação do sinal.

Este tópico objetiva apresentar modelos de predição da propagação das ondas (sinais) num ambiente interno variado. Sua função é calcular a perda causada pela propagação. Apesar de serem considerados modelos genéricos, pois é impossível prever todos os atenuantes numa situação de propagação de sinal, como por exemplo, se um determinado aparelho numa sala conjugada está ligado num determinado momento, causando interferência, ou se pessoas estão circulando pelo ambiente, causando caminhos alternativos do sinal, estes modelos apresenta um cálculo padrão para a perda de intensidade do sinal devido à propagação.

Os modelos de predição em ambientes fechados apresentados aqui são modelos empíricos. Possuem fórmula padrão para serem analisados em qualquer

tipo de ambiente, independente das características gerais dos lugares de instalação, baseados no raio direto entre transmissor e receptor. Os seguintes parâmetros são levados em conta na formulação dos modelos (Sanches, 2005):

- Comprimento do raio direto (distância entre transmissor e receptor);
- Número e material das paredes atravessadas pelo sinal;
- Compensação da atenuação.

Aplicados da mesma forma em ambientes diferentes, porém com a mesma distância de cálculo, pode-se ter a noção aproximada de qual ambiente ou solução de transmissão oferece maior perda por propagação.

De acordo com (SANCHES, 2005) “Estes modelos são simples, eficientes e satisfatórios para implementação em computadores”.

### 2.7.1 Modelo One Slope

A fim de se calcular esta perda, o modelo denominado *One Slope* utiliza um parâmetro, o gradiente  $n$  distância-potência, que é muito sensível ao ambiente de propagação, pois ele engloba o tipo de material de construção, tipo de acabamento, geometria do interior da construção, e detalhes que podem afetar a propagação de ondas como difração e reflexão.

Em muitos ambientes observa-se que a força do sinal decresce a uma potência  $n$ , em relação à distância, chamado de gradiente de distância-potência. (...) O índice ou expoente  $n$  de perda por trajeto pode ser visto como uma soma de todos os diferentes fenômenos que afetam a propagação (reflexão, difração, etc) dentro de um ambiente fechado (...) (SANCHES, 2005)

Esse parâmetro  $n$  é um valor tabelado, utilizado no cálculo da perda por propagação por apresentar um parâmetro que define as dificuldades gerais de cada ambiente. A tabela 2.6 apresenta os valores de  $n$  para diferentes tipos de ambientes.

Tabela 2.6 - Expoente n em alguns ambientes (Sanches, 2005)

Expoente n em alguns ambientes	
Espaço livre	2
Área Urbana	2.7 a 3.5
Indoor em corredores	1.6 a 1.8
Indoor pouco obstruído	2.2 a 2.7
Indoor obstrução média	2.8 a 3.5
Ambientes abertos semilivres	3 a 4
Indoor com muita obstrução	4 a 6

Dessa forma, o modelo One Slope pode ser relacionado. Ele assume uma dependência linear entre a perda e a distância (levando-se em conta o expoente n). A equação 2.3 apresenta o cálculo para o modelo One Slope.

$$L = L(d_0) + 10 n \log (d) \quad (\text{Eq. 2.4})$$

$L$  = perda por propagação em função da distância dB;

$d$  = distância entre a base e terminal em metros (transmissor e receptor);

$L(d_0)$  = perda de propagação de referência a um metro de distância em dB;

$n$  = gradiente de potência-distância.

O valor  $L(d_0)$  é a perda por propagação de referência a um metro de distância em dB; ele pode ser obtido por cálculo, porém também é um valor já registrado em tabela. A tabela 2.7 apresenta os valores de  $L(d_0)$ , em dB, para algumas faixas de frequência. O valor usado será o 40,2, pois corresponde à frequência de 2.4GHz ou 2400 MHz, que é a frequência padrão do protocolo 802.11g e utilizada neste projeto.

Tabela 2.7 - Valores de  $L(d_0)$  para algumas faixas de frequências (Sanches, 2005)

Valores de $L(d_0)$ para algumas faixas de frequências
--

Frequência - MHz	dB
900	31,5
1900	38
2400	40,2
4000	44,5
5300	46,9
7000	49,34

Assim, o modelo One Slope é um modelo empírico que possui como dado de entrada somente a distância. Porém deve-se ressaltar a importância do uso do gradiente  $n$  para representar as variações no ambiente.

### 2.7.2 Modelo Multi-Wall

Há ainda, com o mesmo princípio de funcionamento do modelo One Slope, o modelo *Multi-Wall*, ou modelo de múltiplas paredes. O modelo Multi-Wall dá a mesma perda de trajeto somada com as atenuações introduzidas pelas paredes e pisos penetrados pelo sinal no caminho direto entre transmissor e o receptor. Para projetos de WLANs que abordam mais de um piso vertical, este modelo é altamente indicado. O modelo de múltiplas paredes é semi-empírico; a equação 2.4 apresenta a fórmula para o cálculo do modelo Multi-Wall:

$$L = L(d_0) + 10 n \log(d) + KF1 + \sum_{i=1}^M A_i \quad \text{Eq. (2.5)}$$

$L$  = perda por propagação;

$d$  = distância entre a base e terminal em metros (transmissor e receptor);

$L(d_0)$  = perda de propagação de referência a um metro de distância em dB;

$n$  = gradiente de potência-distância;

$K$  = número de pisos penetrados;

F1 = fator de atenuação entre pisos adjacentes dB (FAF – Floor Attenuation Factor)

M = número de paredes entre transmissor e receptor;

Ai = fator de atenuação nas paredes do tipo idB

A tabela 2.8 apresenta valores de FAF para as respectivas frequências. Aqui vale lembrar mais uma vez que a frequência usada neste trabalho é a frequência padrão do 802.11g, ou seja, frequência de 2.4 GHz ou 2400 MHz.

Tabela 2.8 – Alguns valores de FAF (Sanches, 2005)

Alguns Valores de FAF – Floor Attenuation Factor	
Frequência - MHz	dB
900	10
1900	18
2400	21
5300	26

Para os valores de Ai (fatores de atenuação em diferentes materiais), a tabela 2.9 apresenta a correspondência para 5 GHz (dB) e 2.4GHz (dB).

Tabela 2.9 – Atenuação aproximada do sinal em diferentes materiais (Sanches, 2005)

Atenuação aproximada do sinal em diferentes materiais (Ai)		
Material e espessura	5 GHz (dB)	2,4GHz (dB)
Porta de madeira sólida – 45 mm	7	4
Porta de madeira oca – 45 mm	5	3
Parede de concreto – 450 mm	30	18
Parede interior – 150 mm	9	4
Mármore – 50 mm	10	6
Vidro à prova de bala – 25 mm	20	10
Vidro de segurança com arame – 25 mm	18	13
Vidro espalhado – 6 mm	14	10

Os valores de  $A_i$  tabelados são cálculos padrões realizados com os tipos de materiais mencionados na tabela 2.9. Na prática, o valor deve girar em torno do mencionado, mas nunca será exatamente igual. Isso se deve à detalhes de construção adicionais, como por exemplo o piso de um determinado edifício pode ter composição e materiais diferentes do piso de outro edifício. Para este tipo de detalhe, os modelos de predição em ambientes fechados considerados modelos determinísticos são os que se preocupam em buscar o máximo de fatores possíveis para o cálculo. Os modelos empíricos, tais quais os utilizados neste projeto, preocupam-se em representar de forma geral as características de propagação num dado ambiente.

Após o cálculo da perda por propagação (atenuação) utilizando os modelos mencionados, pode-se calcular o nível de recepção para um ponto dado. Para calcular o nível de recepção, subtrai-se as perdas dos ganhos, ou seja, a soma da potência mais o ganho da antena menos a atenuação calculada pelos modelos One Slope ou Mult-Wall:

$$N_r = PotTx + G - L \quad (\text{Eq. 2.6})$$

$N_r$  = Nível de Recepção;

$PotTx$  = Potência de Transmissão;

$G$  = Ganho;

$L$  = Perda por Propagação.

## **CAPÍTULO 3. INFRA - ESTRUTURA DE HARDWARE E SOFTWARE**

---

Este capítulo trata das especificações de hardware e software utilizadas no projeto, bem como da configuração do ambiente de análise.

A concepção deste projeto está na implementação de uma infra-estrutura de transmissão para uma rede local, baseando-se na antena; enquanto numa situação (cenário 1) o sinal é transmitido numa configuração básica de uma WLAN, numa outra situação (cenário 2) ele é transmitido através do cabo irradiante plugado ao roteador sem fio. Este cabo faz o papel de antena transmissora.

Dessa forma, no estudo do projeto é analisada a qualidade da recepção do sinal primeiramente numa situação sem o cabo irradiante, e em seguida numa situação idêntica, porém com a atuação do cabo no papel de antena do roteador de transmissão. Para essa análise, deve-se ter o mesmo cenário comparativo e os mesmos parâmetros de comparação, a fim de serem minimizados quaisquer fatores externos que possam vir a influenciar a medição nos receptores e as devidas propriedades das ondas propagadas (sinal em transmissão).

Os tópicos deste capítulo apresentam as especificações e soluções de hardware e software adotadas no desenvolvimento do projeto.

### **3.1 Hardware de Transmissão**

Para a execução do presente projeto, foram utilizados os seguintes itens no conjunto de transmissão:

#### **3.1.1 Roteador D-Link DI-524**

- Modelo / Fabricante: D-Link DI-524



- Taxa de Transferência: 802.11g - 54 Mbps
- Potência de Transmissão: 15 dBm = 2 dB
- Antena: Externa desmontável com conector RSMA
- Ganho da Antena: 2 dBi
- Largura de Banda: 54 Mbps
- Frequência Wireless: 2.4GHz
- Administração: Web Based
- Portas: 1 porta WAN e 4 portas LAN



Figura 3.1 - Roteador D-Link DI-524 utilizado no projeto (vista de frente)



Figura 3.2 - Roteador D-Link DI-524 utilizado no projeto (vista de trás)

### 3.1.2 Cabo Radiaflex® RCF

Este cabo é conhecido popularmente como Cabo Irradiante. Sua especificação é a seguinte:

- Nome: RFS RADIAFLEX® 1/2" RCF 12-50 JFN Cable, A-Series
- Modelo: RCF12-50JFN
- Fabricante: Radio Frequency Systems (RFS)
- Banda de Frequência: 30 MHz - 6 GHz



Figura 3.3 - Cabo 1/2" RADIAFLEX® RCF 12-50JFN utilizado no projeto

### 3.1.3 Conector N Macho para Radiaflex RCF 1/2

Este conector é a peça que permite a instalação especificamente do cabo irradiante RADIAFLEX em outros equipamentos, como o roteador da D-Link.

- Nome: Connector N MALE for RADIAFLEX® 12-50
- Modelo: NF-RA78-015
- Fabricante: Radio Frequency Systems (RFS)
- Interface: N
- Gênero: Macho
- Tipo do Cabo: Irradiante
- Tamanho do Cabo: 1/2"

### 3.1.4 Pigtail D-linkRG 058 NF

O pigtail é um pequeno item que, junto com o conector, faz a junção da entrada do cabo Radiaflex para a entrada do conector do roteador D-Link DI-524.

- Nome: PIGTAIL D-LINK Rg 058 NF
- Modelo: SMA Reverso (50cm)
- Fabricante: Radio Frequency Systems (RFS)
- Tipo: Entrada coaxial

### 3.2 Hardware de Recepção

O computador usado para a recepção dos sinais é o seguinte:

- Nome do Computador: RICARDOROLLER
- Tipo: Notebook Hewlett-Packard Pavilion dv6000
- CPU: AMD Turion™ 64 x2 Mobile Technology TL-56 1.80 GHz
- Memória: 2 Gb
- Disco Rígido: 160 Gb
- Adaptador de Rede: D-Link Wireless G USB 2.0 Adapter
  - Modelo: WUA-1340
  - Endereço MAC: 0015E9B76AEE
  - Tipo da Interface: Wireless Adapter (IEEE 802.11b e g)
  - Velocidade Máxima: 54000000 bps (54 Mbps)
  - Suporte à IPv6: Sim
- Sistema Operacional: Microsoft Windows Vista Business
- Service Pack: SP1
- Linguagem: Inglês

### 3.3 Softwares

Neste tópico são apresentados os softwares utilizados no projeto.

### 3.3.1 Vista Stumbler

Na análise comparativa entre a qualidade do sinal com a utilização do cabo irradiante e a qualidade do sinal sem a utilização do cabo irradiante, foi necessária a adoção de uma ferramenta de análise de sinais de redes sem fios num determinado raio de alcance, o VistaStumbler.

- Nome da Ferramenta: VistaStumbler
- Versão: 1.10
- Data em que foi usada no projeto: Maio/2009
- Nome do Fabricante: Suriv
- Encontrada em: <http://www.suriv.be/downloads/default.asp> (Acessado em Outubro, 2008)

### 3.3.2 Wireshark

Para se realizar as medições dos tempos de transmissão e recepção dos pacotes da rede nos cenários I e II, adotou-se a ferramenta Wireshark. Esta ferramenta é destinada a captura de pacotes que trafegam numa rede, mas felizmente ela disponibiliza o tempo de tráfego desses pacotes. Esse tempo torna possível o uso da ferramenta para as medidas de desempenho do projeto.

- Nome da Ferramenta: Wireshark
- Versão: 1.03
- Data em que foi usada no projeto: Maio/2009
- Nome do Fabricante: Gerald Combs
- Encontrada em: <http://www.baixar.info/post/1814.html> (Acessado em Maio, 2009)

### 3.3.3 Ekahau HeatMapper

O Ekahau HeatMapper é um software que mapeia o ambiente de acordo com o nível de recepção do sinal dado numa trajetória percorrida.

- Nome da Ferramenta: HeatMapper
- Versão: 1.02
- Data em que foi usada no projeto: Maio/2009
- Nome do Fabricante: Ekahau
- Encontrada em:

[http://www.ekahau.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=102&Itemid=91](http://www.ekahau.com/index.php?option=com_content&view=article&id=102&Itemid=91) (Acessado em Maio, 2009)

## **CAPÍTULO 4. IMPLEMENTAÇÃO DE HARDWARE E SOFTWARE**

---

### **4.1 Topologias**

A figura 4.1 apresenta a estrutura física do ambiente onde será implementado o projeto. Trata-se da planta baixa de uma residência, onde este projeto avaliará o uso do cabo irradiante tanto para aplicação de redes sem fios locais residenciais ou em pequenas empresas que ficam em espaço físico equivalente ao de uma sala, com um corredor e dois a quatro quartos ou salas.

Nesta figura estão à mostra todos os obstáculos que estão de fato localizados no ambiente de desenvolvimento, mais especificamente no trajeto entre o roteador sem fio (transmissão) e o computador com placa de rede sem fio (recepção). Esses obstáculos, que se referem à disposição de paredes e portas, formam os fatores fixos de degradação do sinal wireless. Como já mencionado, outros fatores como circulação de pessoas e principalmente interferência de outros equipamentos operando em mesma frequência também atrapalham a propagação do sinal.

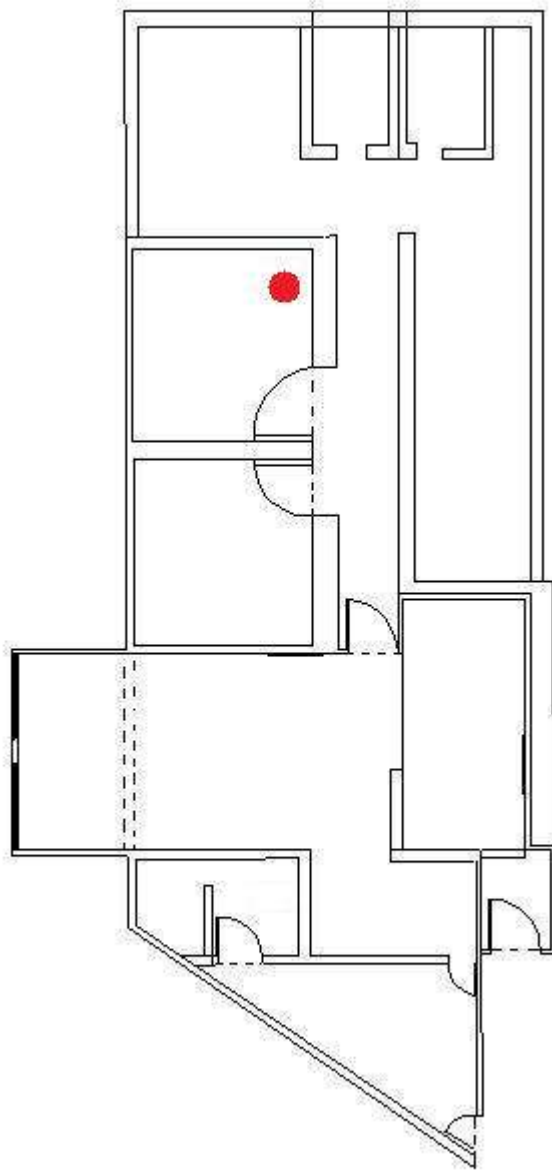


Figura 4.1 - Vista Superior do Ambiente de Análise do Projeto

O ponto vermelho se refere ao ponto onde está localizado o roteador sem-fio; a transmissão sempre se dará deste ponto.

#### 4.1.1 Cenário I

A figura 4.2 apresenta o cenário I de implementação, onde não é utilizado o cabo irradiante como antena. A antena acima do wireless router representa o ponto forte da transmissão neste cenário.



Figura 4.2 - Cenário sem o Cabo Irradiante

Neste cenário, o sinal é transmitido pelo roteador através de sua antena padrão. Após a transmissão ele percorre o caminho até o Notebook com a placa de rede wireless que fará sua captura, entre paredes, objetos e portas, numa distância total dada entre o transmissor e receptor.

A difração e reflexão são os principais fenômenos a serem levados em conta nesse trajeto, pois eles permitirão que o sinal "contorne" os objetos e paredes em seu caminho.

#### **4.1.2 Cenário II**

A figura 4.3 apresenta o cenário II de implementação, onde é utilizado o cabo irradiante como antena.



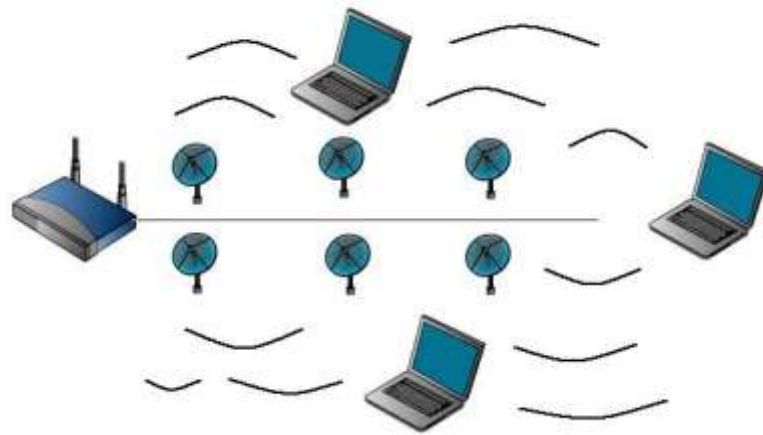


Figura 4.3 - Cenário com o Cabo Irradiante

Neste cenário, a diferença em relação ao cenário I é que o sinal não irá sair pela antena padrão do roteador sem fio. Ele continuará sua trajetória pelo cabo irradiante e será transmitido ao longo do comprimento do cabo, pelos orifícios que o mesmo possui. As pequenas antenas na figura representam os pontos fortes da transmissão, que neste caso é distribuída ao longo do Cabo Irradiante.

Seu caminho físico até o receptor é o mesmo do cenário I, bem como a distância, e sofrerá a influência dos mesmos elementos de degradação do sinal.

A representação do projeto em relação à posição do cabo é a de que ele seria colocado sob o forro da sala ou do ambiente. Para este trabalho o cabo permanece numa posição livre, ou seja, não se encontra sob forros ou dentro de paredes, e sim ao ar livre da mesma forma que o transmissor e receptor.

## 4.2 Configuração de WLAN

A primeira tarefa a ser feita na implementação do ambiente completo para o estudo do projeto é configurar uma *wireless local área network* reservada para esse fim.

O roteador D-Link DI-524 é conectado a um modem pertencente a um provedor de acesso (ISP), para saída externa da rede (internet). O computador

cliente (host) é conectado ao roteador. Ambas as conexões são feitas com cabos de rede Ethernet, D-Link, com conectores RJ-45.

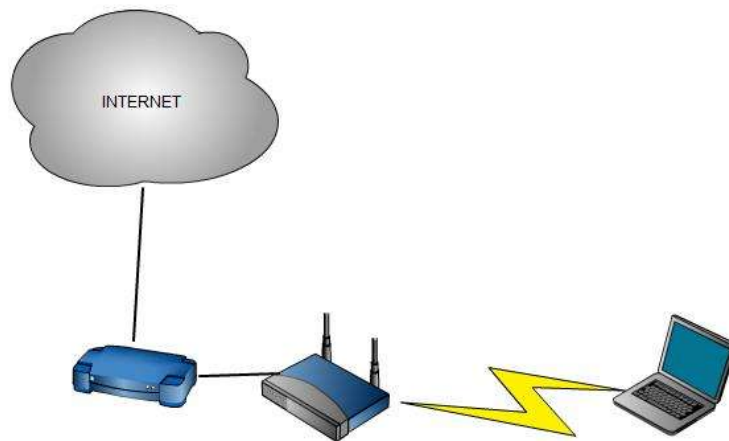


Figura 4.4 - Cenário para criação e configuração da WLAN

Dessa forma, através desse computador foi feita a configuração da rede, descrita nos passos a seguir e que fazem parte da recomendação do fabricante para uma instalação bem-sucedida:

No *browser* (navegador web), foi digitado o endereço IP do servidor de configuração do roteador D-Link DI-524: **192.168.0.1**;

Para a conexão ser bem sucedida, é requisitado uma autenticação de usuário. Por padrão, a D-Link especifica *User: admin* e *Password* em branco.



Figura 4.5 - Requisição de autenticação

Uma vez autenticado, a tela inicial é disponibilizada. É possível a configuração manual ou pelo assistente.



Figura 4.6 - Tela inicial da configuração

Foi definida a rede sem fio para o status ativado (enabled), um Network ID que corresponde à definição de um nome para a rede, e neste caso definiu-se **ProjetoFinal\_Ricardo** como ID da rede. Também foi definido um canal de operação (como mencionado anteriormente, o canal define a faixa de frequência de operação na transmissão dos pacotes), e o protocolo de segurança. Por padrão, o canal escolhido foi o 6 e o protocolo de segurança escolhido foi o WPA-PSK.

The screenshot shows the configuration interface of an AirPlus G 802.11g/2.4GHz Wireless Router. The top navigation bar includes tabs for Home, Advanced, Tools, Status, and Help. The 'Advanced' tab is selected, and the 'Wireless Settings' section is active. Below the title, a note states: 'These are the wireless settings for the AP(Access Point) portion.' The settings are as follows:

Setting	Value
Wireless	<input checked="" type="radio"/> Enabled <input type="radio"/> Disabled
Network ID(SSID)	ProjetoFinal_Ricardo
Channel	6
Security	WPA-PSK / WPA2-PSK
Preshare Key	uniceub2008

At the bottom right, there are three buttons: 'Apply' (with a green checkmark icon), 'Cancel' (with a yellow 'X' icon), and 'Help' (with a red plus icon).

Figura 4.7 - Configurações de canal e segurança

Após essas configurações, é perguntado se o ISP (Internet Service Provider) necessita de uma entrada de host name ou MAC Address específica, ou seja, para o caso de um provedor da Internet que exige de seus clientes um endereço MAC único da placa de rede para poder fornecer o serviço de conexão para a rede externa (Internet). Se for o caso, deve-se "enganar" o modem do ISP, para ele enxergar uma conexão somente com o PC do usuário e não com um Wireless Router. Como o modem enxergaria o MAC Address da placa de rede do usuário, o roteador fornece a opção de "clonar" esse endereço, e dessa forma quando for ligado no modem, o modem não entende que existe um roteador no caminho entre ele e o computador do usuário. Para a rede sem fio deste projeto, por recomendação do fabricante e a fim de evitar futuros conflitos que possam ocasionar a queda da rede, foi clicado no botão "Clone MAC Address".



Figura 4.8 - Clone do Endereço MAC para o Router

A seguir, selecionou-se a opção para a conexão do wireless router com o ISP; é também a forma que o roteador irá receber o endereço IP do provedor de acesso à Internet, para o funcionamento da conexão lógica da rede. Para a maioria das redes sem fios e para este projeto, foi selecionada a opção Dynamic IP Address (Endereço IP Dinâmico), que corresponde aos usuários de Cable Modem em geral, onde o ISP fornece endereços IP para os usuários (e ativos de rede) automaticamente, sem a necessidade de uma configuração manual, como é o caso dos IPs estáticos.

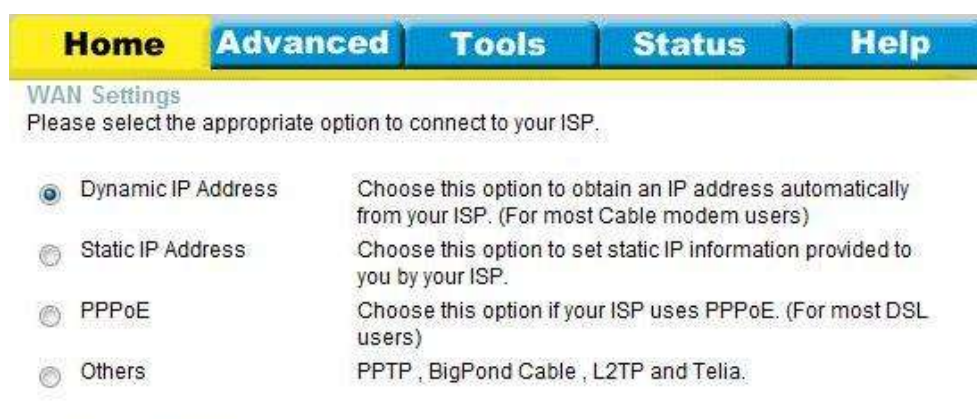


Figura 4.9 - Escolha do tipo de Conexão ao ISP

É mostrado o endereço IP e a máscara de rede do roteador. Por padrão os seguintes valores são automaticamente definidos:



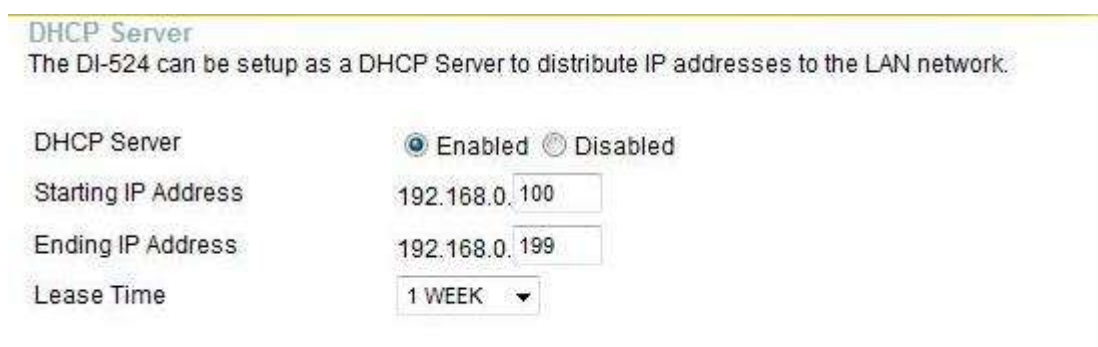
LAN Settings  
The IP address of the DI-524.

IP Address	192.168.0.1
Subnet Mask	255.255.255.0
Domain Name	

Figura 4.10 - Endereço IP e Máscara de Rede do Roteador

O endereço IP 192.168.0.1 é um endereço privado. Os roteadores da D-Link de banda larga domésticos usam esse endereço para estabelecer uma rede doméstica padrão. Um de seus atributos (e de todos os endereços IP privados) é que ele pode ser usado quantas vezes forem necessárias, desde que esteja em redes diferentes e com apenas um dispositivo usando-o. A Subnet Mask (máscara de sub-rede) seria importante no caso da divisão de uma rede privada em sub-redes. Como não é esse o caso, a máscara de sub-rede permaneceu inalterada em 255.255.255.0, ou /24. Essa é a máscara padrão da classe C de endereços IPs.

É fornecida a opção de usar o roteador sem fio como um servidor DHCP na pequena rede onde ele está atuando. O servidor DHCP é necessário quando se trabalha com endereços de IP dinâmicos, onde os computadores necessitam que algum dispositivo de rede forneça seus endereços IP para que eles conectem à rede. O modem ISP geralmente faz esse serviço. Quando se habilita o wireless *router* para atuar como servidor DHCP, ele rouba essa função do modem e distribui os endereços IP para os notebooks ou desktops que se conectarem à rede privada em questão.



DHCP Server  
The DI-524 can be setup as a DHCP Server to distribute IP addresses to the LAN network.

DHCP Server	<input checked="" type="radio"/> Enabled <input type="radio"/> Disabled
Starting IP Address	192.168.0.100
Ending IP Address	192.168.0.199
Lease Time	1 WEEK ▼

Figura 4.11 - Wireless Router como DHCP Server

É possível especificar o intervalo de endereços IP que esse DHCP Server pode fornecer, bem como o período de renovação dos endereços de cada ativo de rede. Porém, isso é irrelevante numa rede local doméstica, visto que o próprio router não agüenta mais que sete ou oito conexões simultâneas.

Por fim, o sistema avisa que está processando as novas configurações para o funcionamento da nova WLAN.



Figura 4.12 - Mensagem de Processamento da nova WLAN



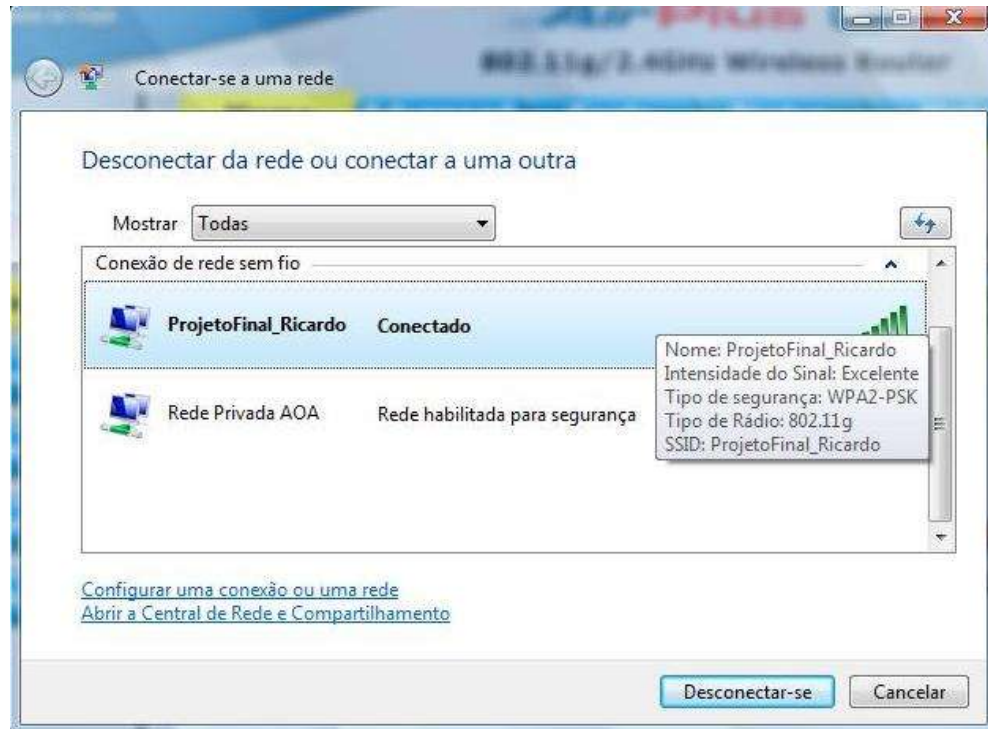


Figura 4.13 - Configuração WLAN concluída

### 4.3 Montagem do Cabo Irradiante

O segundo passo da implementação é a montagem e conexão do cabo Radiaflex RCF 1/2" com o roteador wireless. Este conjunto de transmissão tem o propósito de conduzir o sinal pelo cabo, que estará atuando como uma antena longa de distribuição do sinal.

A princípio, o cabo vem de fábrica desmontado. As peças que fazem parte da montagem do cabo são o conector, o pigtail, um anel de borracha denominado O-ring e um termo contrátil. Para a montagem, foi necessário o uso de ferramentas específicas, como alicate, duas chaves de boca tamanhos 19 e 23, faca de serra e faca afiada.

Os passos seguidos para a montagem foram os seguintes:

Foi removida a capa protetora do cabo com a faca afiada, com o cuidado de não danificar o condutor externo. A seguir estabeleceu-se um corte vertical na



extremidade do cabo, com a serra de dentes finos. Esse procedimento é feito para deixar a extremidade lisa.



Figura 4.14 - Cabo com capa Protetora (Roller, 2009)



Figura 4.15 - Cabo sem a capa Protetora (Roller, 2009)

Foi cortado o condutor externo, onde se tem os furos para a transmissão do sinal, na altura do terceiro anel. A seguir foi feita uma raspagem da espuma dielétrica branca que fica entre o condutor externo e o interno. Este procedimento foi feito com cautela para não danificar o condutor interno, visto que ele é o principal componente do cabo para a propagação do sinal.



Figura 4.16 - Corte do condutor externo e raspagem da espuma dielétrica (Roller, 2009)

Foi feito o deslize do anel O-Ring e do termo contrátil. O anel O-Ring tem a função de ajudar na fixação do cabo com o conector, facilitando a travagem. O termo contrátil é usado quando se quer prevenir a entrada de água na junção do conector com o cabo. Com uma chama fraca, o termo contrátil, de borracha, se contrai totalmente até ficar completamente pregado na junção.



Figura 4.17 - Entrada do Anel O-Ring e Termo Contrátil (Roller, 2009)

A seguir, utilizou-se uma escova para limpar a extremidade do cabo, a fim de certificar-se de que não ficaram resíduos de sujeira depositados no condutor interno. Foi feita uma verificação das medidas dos condutores internos e externos, de acordo com o número de corrugações indicado na medida do manual do fabricante. O alicate serviu para arredondar o melhor possível a borda do condutor externo, para não gerar problemas no momento do encaixe com o conector. Após esse procedimento, foi encaixado o conector no cabo, e pressionado com uma força considerável até ser ouvido um estralo. Com o estralo, o encaixe fica firme e mesmo quando puxado na direção oposta o conector não se solta do cabo. Depois foi apertado o conector, utilizando as duas chaves de boca tamanhos 19 e 23.



Figura 4.18 - Conector plugado no Cabo Irradiante (Roller, 2009)

O passo a seguir é fazer o encaixe do cabo com o Pigtail; o pigtail possui um encaixe específico para a entrada do cabo irradiante e outro para a entrada no conector do roteador D-Link DI-524. Para a entrada no roteador, removeu-se a antena padrão e foi feito o encaixe do pigtail. Após esse procedimento de encaixe das duas extremidades, o conjunto de transmissão está pronto.



Figura 4.19 - Pigtail plugado no Cabo Irradiante (Roller, 2009)



Figura 4.20 - Remoção da Antena do roteador (Roller, 2009)



Figura 4.21 - Pigtail plugado no roteador (Roller, 2009)

#### 4.4 Recepção do Sinal

Para apresentação das localizações do transmissor, do cabo irradiante e do receptor (figura 4.22), foi definido que:

- Ponto vermelho corresponde à posição do Wireless Router D-Link DI-524 (transmissor);
- Traço vermelho corresponde à disposição do cabo Radiaflex RCF 1/2 (cabo irradiante);
- Ponto 1 corresponde à posição do receptor (D-Link Wireless G USB 2.0) na análise 1;
- Ponto 2 corresponde à posição do receptor na análise 2;
- Ponto 3 corresponde à posição do receptor na análise 3.

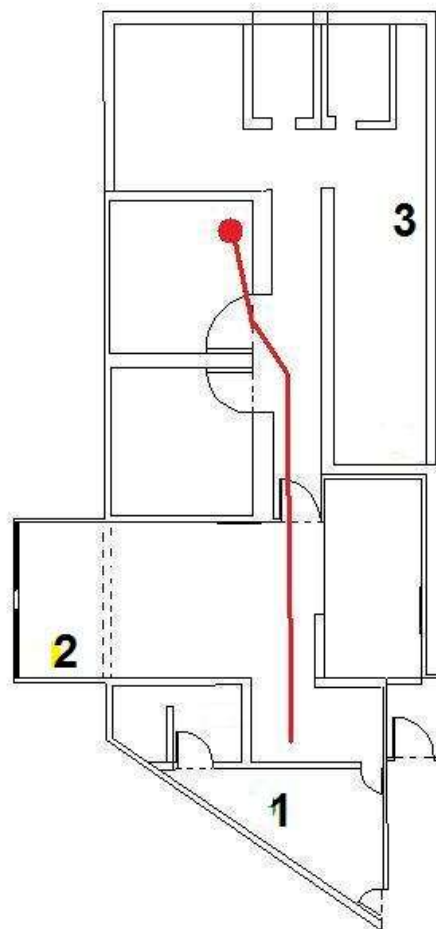


Figura 4.22 – Localizações de transmissor, receptor e cabo irradiante.

- **Análise 1** (receptor - ponto 1):  
Distância aproximada entre transmissor e receptor sem cabo irradiante: 17 metros  
Número de paredes frontais entre transmissor e receptor: 4
- **Análise 2** (receptor - ponto 2)  
Distância aproximada entre transmissor e receptor sem cabo irradiante: 15 metros  
Número de paredes frontais entre transmissor e receptor: 2
- **Análise 3** (receptor – ponto 3)  
Distância aproximada entre transmissor e receptor sem cabo irradiante: 4 metros  
Número de paredes frontais entre transmissor e receptor: 2

Com a utilização do software Ekahau HeatMapper, permitiu-se analisar a cobertura estimada do sinal dentro do ambiente do projeto. As figuras 4.23 e 4.24 apresentam, respectivamente, a cobertura do sinal para os cenários I e II.

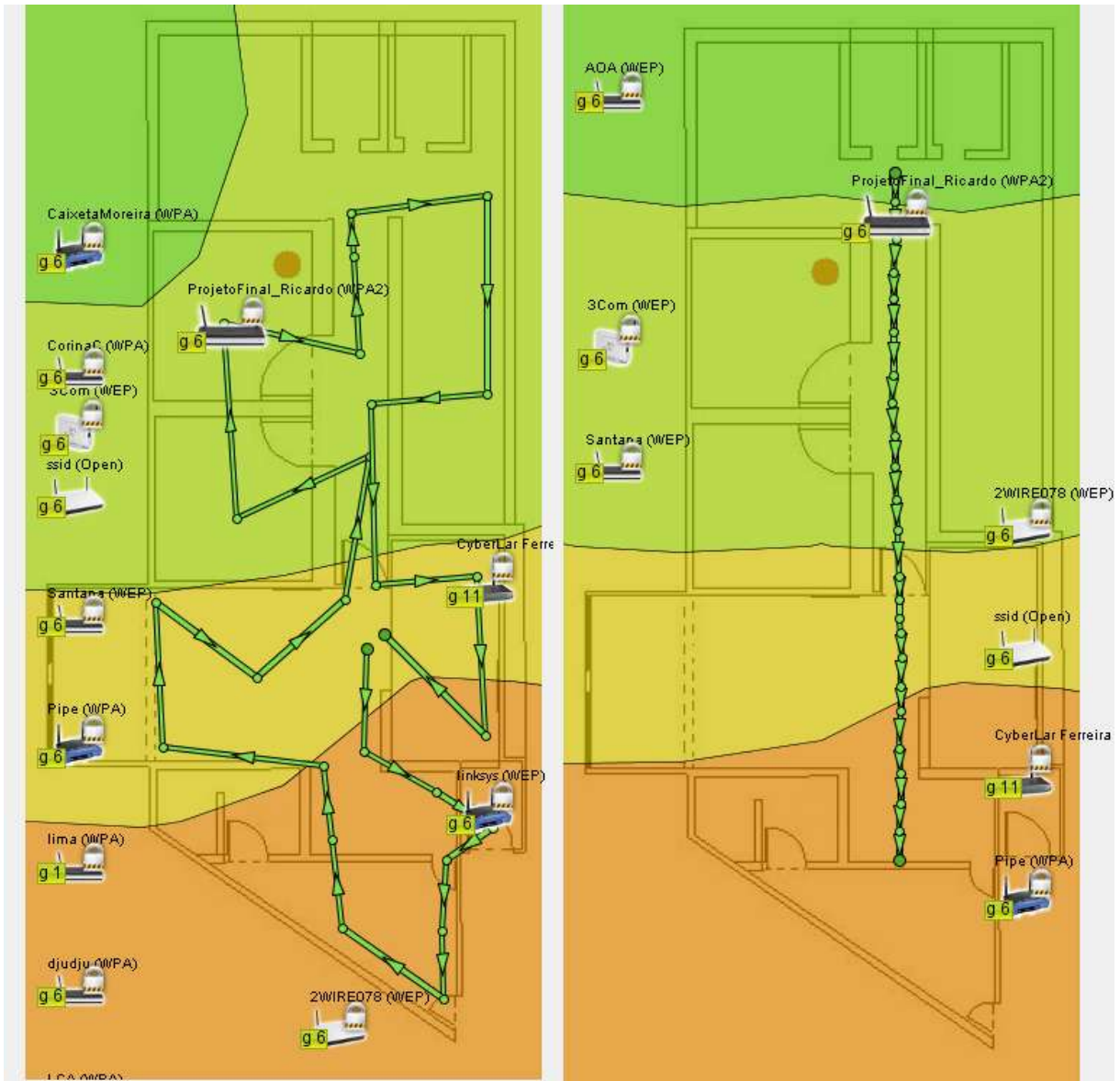


Figura 4.23 - Cobertura do sinal no cenário I

Ambos os cenários avaliados possuem paredes de concreto e portas de madeira, que implicarão nos valores tabelados dos modelos de predição em ambientes fechados. Para as distâncias medidas, o capítulo 5 informará os valores.



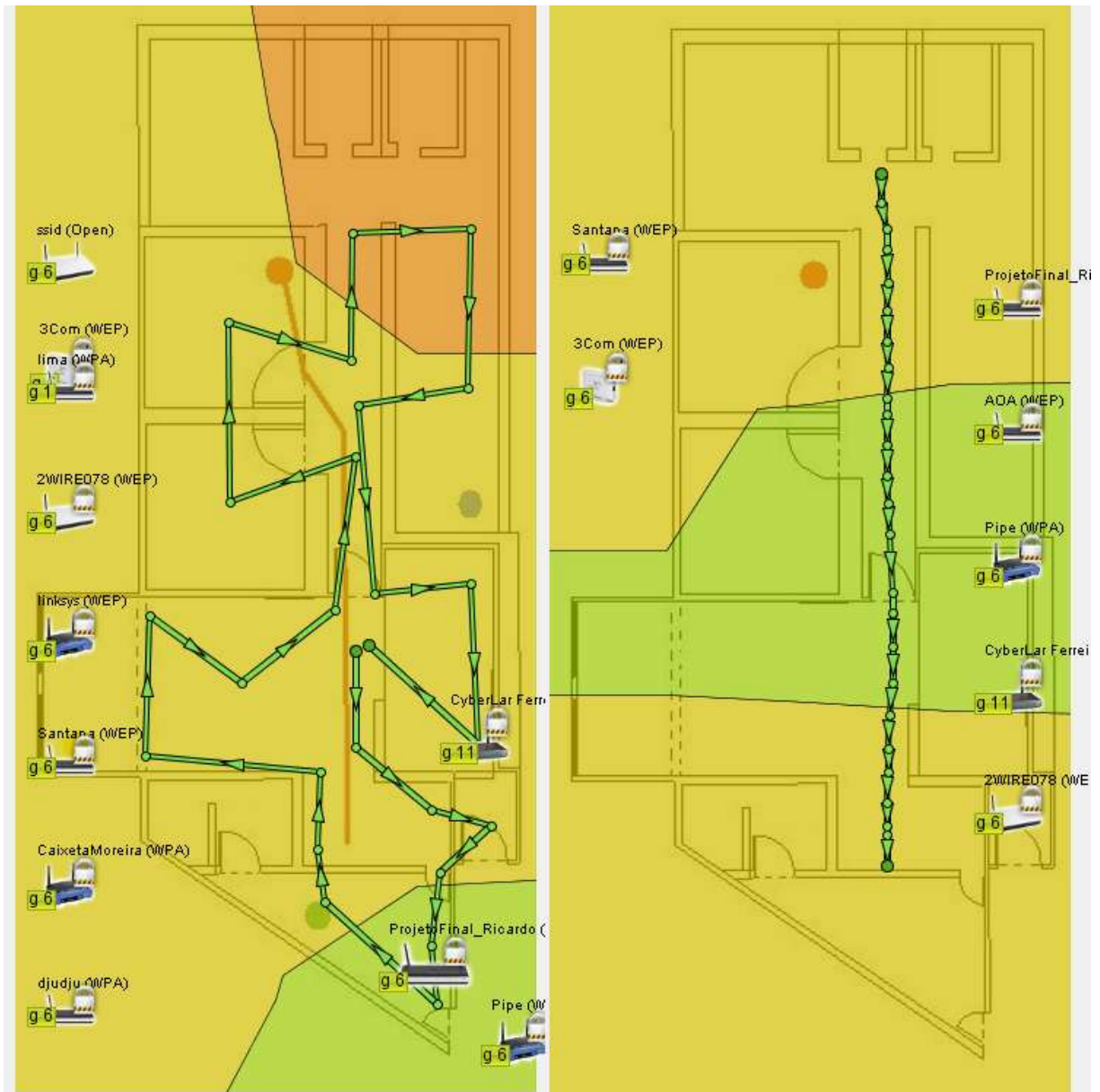


Figura 4.24 - Cobertura do sinal no cenário II

As faixas verde, amarela e vermelha representam, respectivamente, a melhor, média e pior qualidade de recepção do sinal naquela área. O tracejado verde é o caminho percorrido pelo receptor do sinal, enquanto o software calculava o diagrama do trajeto. Percebe-se que em dois trajetos diferentes percorridos, o diagrama calculado assemelha-se nas áreas delineadas.

Os roteadores que aparecem nas duas figuras fazem parte de outras redes sem fios detectadas pelo software. A conexão wireless do diagrama traçado é



representada pelo wireless router denominado *ProjetoFinal\_Ricardo*, como pode ser observado nas duas figuras.

#### 4.4.1 Recepção na Análise 1

A análise 1 corresponde ao receptor no ponto 1. O software VistaStumbler traçou os gráficos de recepção do sinal neste ponto, sem a utilização e com a utilização do cabo irradiante, respectivamente representados pelas figuras 4.25 e 4.26. As porcentagens de medições foram, respectivamente, 24% e 85%, representado pela faixa verde do gráfico.

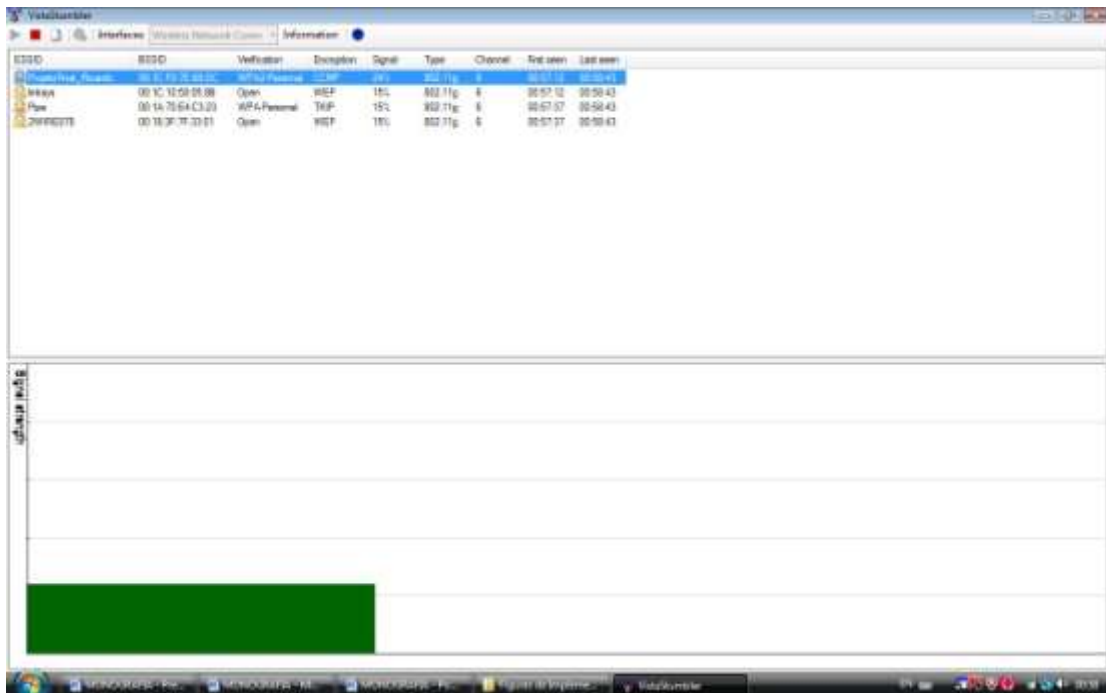


Figura 4.25 – Gráfico de recepção da análise 1 no cenário I

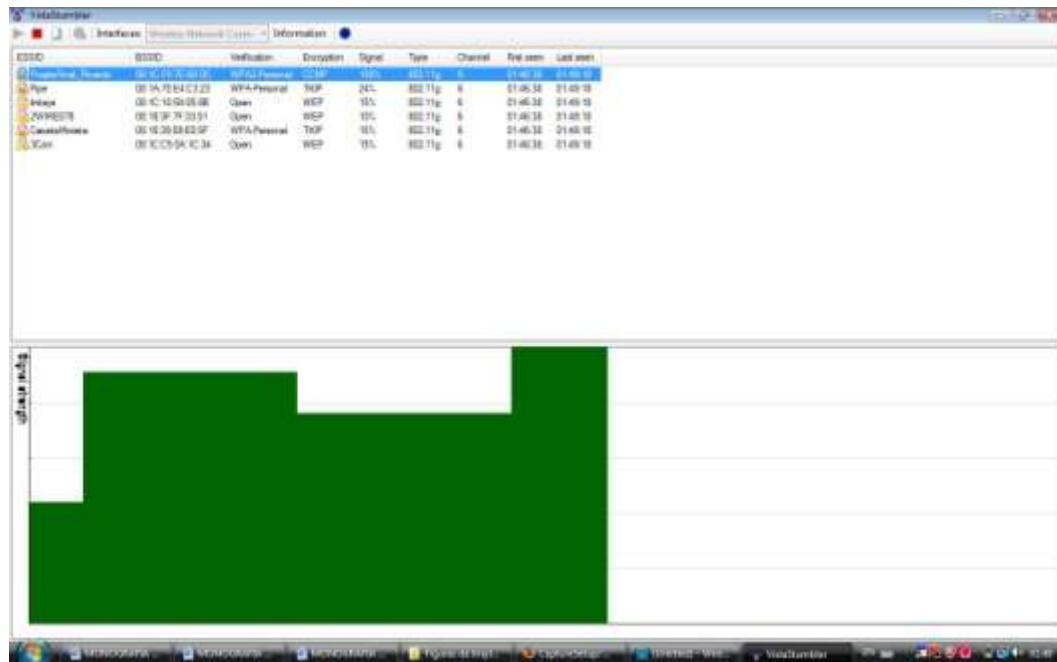


Figura 4.26 – Gráfico de recepção da análise 1 no cenário II

#### 4.4.2 Recepção na Análise 2

A análise 2 corresponde ao receptor no ponto 2. O software VistaStumbler traçou os gráficos de recepção do sinal neste ponto, sem a utilização e com a utilização do cabo irradiante, respectivamente representados pelas figuras 4.27 e 4.28. As porcentagens de medições foram, respectivamente, 39% e 24%, representado pela faixa verde do gráfico.

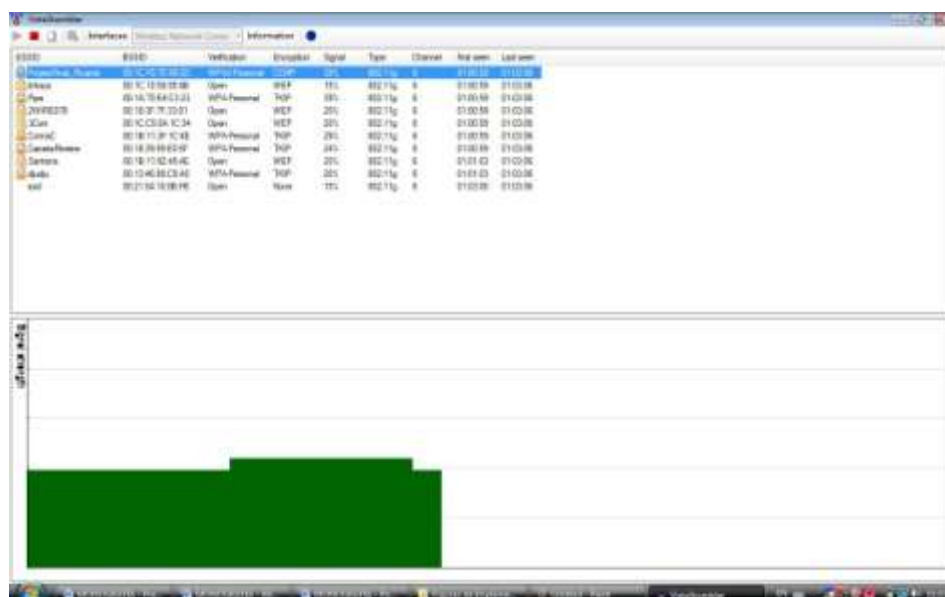


Figura 4.27 – Gráfico de recepção da análise 2 no cenário I

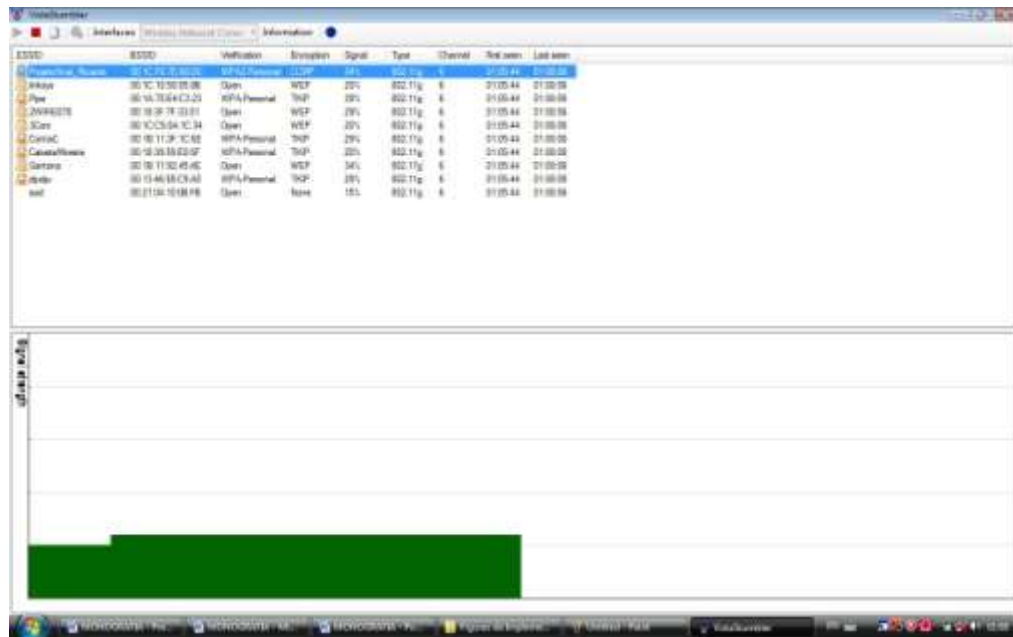


Figura 4.28 – Gráfico de recepção da análise 2 no cenário II

#### 4.4.3 Recepção na Análise 3

A análise 3 corresponde ao receptor no ponto 3. O software VistaStumbler traçou os gráficos de recepção do sinal neste ponto, sem a utilização e com a utilização do cabo irradiante, respectivamente representados pelas figuras 4.29 e 4.30. As porcentagens de medições foram, respectivamente, 65% e 32%, representado pela faixa verde do gráfico.

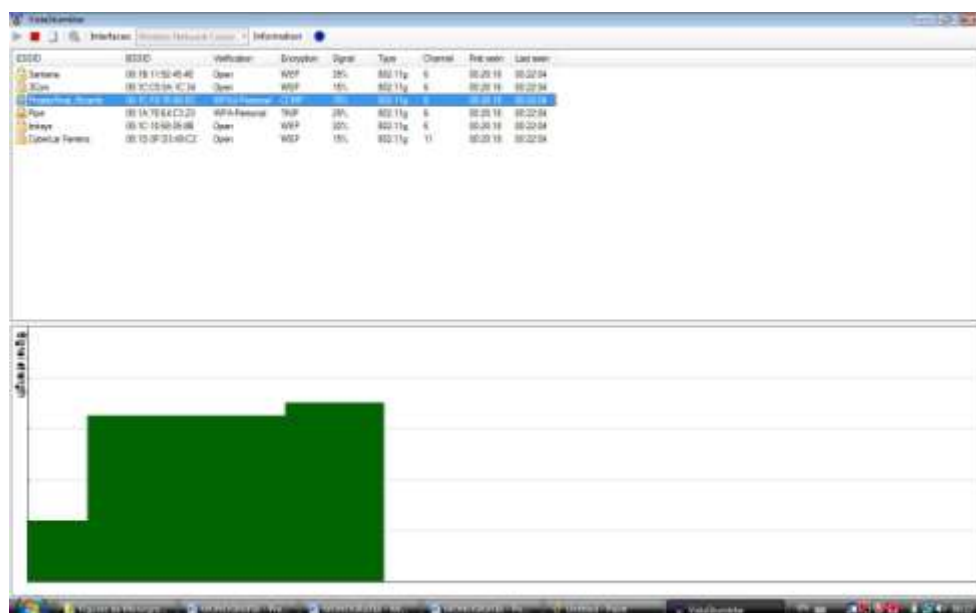


Figura 4.29 – Gráfico de recepção da análise 3 no cenário I

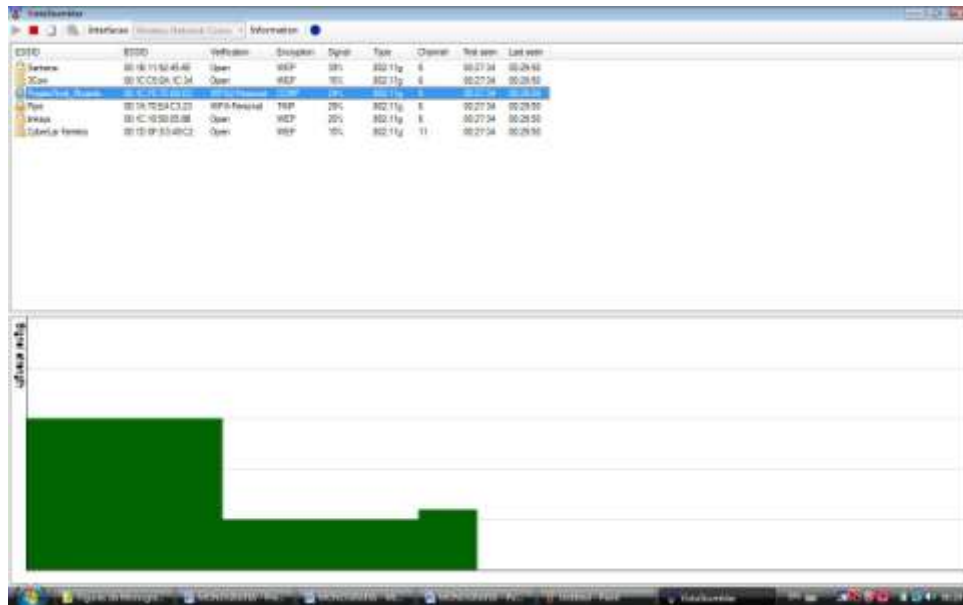


Figura 4.30 – Gráfico de recepção da análise 3 no cenário II

As tabelas com os valores exatos da porcentagem do sinal para cada caso podem ser encontradas no **apêndice A**. Para cada cenário, foram analisadas 3 situações de recepção, demonstradas pelas localizações do receptor nos pontos 1, 2 e 3.

#### 4.5 Tempo de Resposta

O software Wireshark foi usado para uma medição baseada no tempo de resposta de uma aplicação, que possibilita assim avaliar, juntamente com a qualidade do sinal nos pontos de análise, o impacto no desempenho da rede, relativo ao uso ou não do cabo irradiante.

Uma vez que a relação qualidade do sinal ruim = taxa de transmissão ruim e qualidade boa do sinal = boa taxa de transmissão, foi usado o comando ping para uma aferição dos tempos de resposta na rede e verificação de um melhor ou pior parâmetro de transmissão.

O comando ping utiliza o protocolo ICMP, e é baseado em mensagens de echo request e echo reply; para cada requisição enviada ele aguarda uma resposta do receptor, que neste caso é o wireless router com o IP 192.168.0.1. Foram enviadas quatro requisições em cada caso, com pacotes idênticos de 128 bytes de comprimento.

Este procedimento foi realizado dez vezes em cada análise e depois tirou-se a média das dez. O capítulo 5 apresenta o estudo dos resultados com a média das dez medidas em cada caso.

#### **4.5.1 Procedimento Padrão para Medições**

O cenário I representa a WLAN sem o cabo irradiante acoplado no wireless router; e o cenário II representa a rede com o cabo irradiante acoplado no wireless router e atuando como antena transmissora.

Foram feitas 10 medições de tempo de resposta com a aplicação de ping (ICMP Echo Request e Echo Reply), para cada análise no cenário I e cada análise no cenário 2.

A seguir tirou-se a média dos 10 valores medidos para se ter o valor final para cada uma das três análises em cada um dos dois cenários.

A requisição de ping foi utilizada no seguinte formato:

- *ping 192.168.0.1 -l 128*

Onde, neste comando, especifica-se o endereço IP do roteador wireless que se quer atingir, e o parâmetro -l acompanhado do valor 128 especifica que o tamanho do pacote será de 128 bytes e não os 32 bytes padrão da aplicação ping / ICMP.

#### 4.5.2 ICMP – Mensagens de Echo

O protocolo ICMP foi usado no projeto para testar a disponibilidade e conectividade do destino, que no caso é a comunicação entre o Notebook e o roteador wireless. A medição do tempo de resposta foi feita com mensagens de solicitação de Echo (Echo Request) e de resposta de Echo (Echo Reply). Como numa comunicação verbal, o emissor pergunta ao destino se está sendo escutado; se o destino escuta a pergunta, ele responde que sim. Se o emissor recebe a resposta afirmativa, a comunicação é classificada como sucesso. Para a solicitação de Echo ser enviada pela origem, usa-se o comando ping.

Paralelamente, o ping possui algumas propriedades, denominadas de ping estendido, que possibilitam avaliar melhor a comunicação entre dois pontos da rede. Uma dessas propriedades é o tamanho do pacote a ser enviado; por padrão, é 32 bytes. Neste projeto usou-se o tamanho 128 bytes, somente a título de verificação da comunicação para um pacote maior; quando se aumenta o tamanho, há um ligeiro aumento de dificuldade na capacidade de comunicação, principalmente em pontos onde o sinal está degradado para recepção.

O software Wireshark possibilitou as medidas detalhadas de cada mensagem Echo com sua respectiva resposta, nos acasos em que houve resposta. No ponto de recepção para a análise I foram observados os seguintes valores na transmissão das quatro solicitações de ping, como aparece destacado nas figuras 4.31 e 4.32.

Wireshark interface showing a packet capture analysis of a ping operation.

**Packet List:**

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	192.168.0.15	192.168.0.1	ICMP	Echo (ping) request
2	3.419187	D-Link_b7:6a:ee	D-Link_7e:68:dc	ARP	who has 192.168.0.1? Tell 192.168.0.15
3	4.419189	D-Link_b7:6a:ee	D-Link_7e:68:dc	ARP	who has 192.168.0.1? Tell 192.168.0.15
4	4.920675	192.168.0.15	192.168.0.1	ICMP	Echo (ping) request
5	5.419259	D-Link_b7:6a:ee	D-Link_7e:68:dc	ARP	who has 192.168.0.1? Tell 192.168.0.15
6	9.919419	D-Link_b7:6a:ee	Broadcast	ARP	who has 192.168.0.1? Tell 192.168.0.15
7	10.672426	D-Link_7e:68:dc	D-Link_b7:6a:ee	ARP	192.168.0.1 is at 00:1c:f0:7e:68:dc
8	10.672478	192.168.0.15	192.168.0.1	ICMP	Echo (ping) request
9	10.911226	D-Link_7e:68:dc	D-Link_b7:6a:ee	ARP	192.168.0.1 is at 00:1c:f0:7e:68:dc
10	13.721471	D-Link_7e:68:dc	D-Link_b7:6a:ee	ARP	192.168.0.1 is at 00:1c:f0:7e:68:dc
11	14.919453	192.168.0.15	192.168.0.1	ICMP	Echo (ping) request
12	15.354476	192.168.0.1	192.168.0.15	ICMP	Echo (ping) reply
13	77.140470	D-Link_b7:6a:ee	Broadcast	ARP	who has 192.168.0.1? Tell 192.168.0.15
14	77.919184	D-Link_b7:6a:ee	Broadcast	ARP	who has 192.168.0.1? Tell 192.168.0.15
15	78.919182	D-Link_b7:6a:ee	Broadcast	ARP	who has 192.168.0.1? Tell 192.168.0.15
16	80.867094	D-Link_7e:68:dc	D-Link_b7:6a:ee	ARP	192.168.0.1 is at 00:1c:f0:7e:68:dc
17	80.870420	D-Link_7e:68:dc	D-Link_b7:6a:ee	ARP	192.168.0.1 is at 00:1c:f0:7e:68:dc
18	81.889854	D-Link_b7:6a:ee	Broadcast	ARP	who has 192.168.0.1? Tell 192.168.0.15

**Frame 12 (170 bytes on wire, 170 bytes captured)**

Arrival Time: May 13, 2009 01:40:52.527505000  
 [Time delta from previous captured frame: 0.435023000 seconds]  
 [Time delta from previous displayed frame: 0.435023000 seconds]  
 [Time since reference or first frame: 15.354476000 seconds]

Frame Number: 12  
 Frame Length: 170 bytes  
 Capture Length: 170 bytes  
 [Frame is marked: False]  
 [Protocols in frame: eth:ip:icmp:data]  
 [Coloring Rule Name: ICMP]  
 [Coloring Rule String: icmp || icmpv6]

**Packet Details:**

Ethernet II, Src: D-Link\_b7:6a:ee, Dst: D-Link\_7e:68:dc, Protocol: ICMP  
 Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.1, Dst: 192.168.0.15  
 ICMP Echo (ping) reply (128 bytes)  
 Data (128 bytes): . . . . .

**Packet Bytes:**

```

0 00 15 e9 b7 6a ee 00 1c f0 7e 68 dc 08 00 45 00  ....j...~h...E.
0 00 00 68 47 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ....h...
  
```

**Command Prompt Output:**

```

Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.0.6002.18005]
Copyright (c) 2006 Microsoft Corporation

C:\Users\NHP>ping -l 128 192.168.0.1

Pinging 192.168.0.1 with 128 bytes of data:
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Reply from 192.168.0.1: bytes=128 time=435ms TTL=64

Ping statistics for 192.168.0.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 1, Lost = 3 (75% loss),
    Approximate round trip times in ms:
        Minimum = 435ms, Maximum = 435ms, Average = 435ms
  
```

Figura 4.31 – Ping - análise 1 no cenário I



Time	Source	Destination	Protocol	Info
1 0.000000	192.168.0.15	192.168.0.1	ICMP	Echo (ping) request
2 0.001402	192.168.0.1	192.168.0.15	ICMP	Echo (ping) reply
3 1.001922	192.168.0.15	192.168.0.1	ICMP	Echo (ping) request
4 1.004006	192.168.0.1	192.168.0.15	ICMP	Echo (ping) reply
5 2.003878	192.168.0.15	192.168.0.1	ICMP	Echo (ping) request
6 2.005835	192.168.0.1	192.168.0.15	ICMP	Echo (ping) reply
7 3.005765	192.168.0.15	192.168.0.1	ICMP	Echo (ping) request
8 3.007458	192.168.0.1	192.168.0.15	ICMP	Echo (ping) reply
9 36.451365	D-Link_b7:6a:ee	D-Link_7e:68:dc	ARP	Who has 192.168.0.1? Tell 192.168.0.15
10 36.453624	D-Link_7e:68:dc	D-Link_b7:6a:ee	ARP	192.168.0.1 is at 00:1c:f0:7e:68:dc

Frame 8 (170 bytes on wire, 170 bytes captured)

Arrival Time: May 13, 2009 01:34:10.148377000

[Time delta from previous captured frame: 0.001693000 seconds]

[Time delta from previous displayed frame: 0.001693000 seconds]

[Time since reference or first frame: 3.007458000 seconds]

Frame Number: 8

Frame Length: 170 bytes

Capture Length: 170 bytes

[Frame is marked: False]

[Protocols in frame: eth:ip:icmp:data]

[Coloring Rule Name: ICMP]

[Coloring Rule String: icmp || icmpv6]

Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe

Microsoft Windows [Version 6.0.6001]

Copyright (c) 2006 Microsoft Corporation

C:\Users\HP>ping -l 128 192.168.0.1

Pinging 192.168.0.1 with 128 bytes:

Reply from 192.168.0.1: bytes=128 time=1ms TTL=64

Reply from 192.168.0.1: bytes=128 time=1ms TTL=64

Reply from 192.168.0.1: bytes=128 time=1ms TTL=64

Reply from 192.168.0.1: bytes=128 time=1ms TTL=64

Ping statistics for 192.168.0.1:

Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss):

Approximate round trip times in milliseconds:

Figura 4.32 – Ping - análise 1 no cenário II

As figuras 4.31 e 4.32 mostram sempre o tempo total gasto após a resposta da última requisição, de um total de quatro. Para os casos onde não houve resposta (tempo excedido da aplicação), ou houve menos do que quatro respostas (porcentagem de sucesso é diferente de 100%), o tempo de resposta total é dado pela última solicitação ou resposta do ping, como pode ser visto na figura 4.31.

Observa-se nestas medições que a diferença entre o tempo foi relativamente grande, para um desempenho satisfatório numa rede. Este ponto de avaliação, simbolizado pela cor verde na planta baixa do ambiente, é o ponto onde se observou a maior diferença nos tempos de resposta obtidos com a aplicação de Echo Request e Echo Reply.



As demais medições nas análises 2 e 3 nos cenários I e II podem ser encontradas no **apêndice B**. Para cada análise foram feitas 10 medições no cenário I e 10 medições no cenário II, e depois tirou-se a média entre elas.

#### **4.6 Cálculo da Rede WLAN em Ambiente Fechado**

Utilizando os modelos de predição em ambientes fechados referenciados no capítulo 2, foram calculados a perda por propagação e nível de recepção, para os cenários I e II.

Em cada cenário, calculou-se um nível de recepção dado pelo modelo One Slope e um nível de recepção dado pelo modelo Multi-Wall. Os dados de entrada referentes à distância entre transmissor e receptor, e ao número de paredes entre eles, podem ser visualizados na figura 4.33, onde o forte traçado vermelho representa a disposição do cabo irradiante.

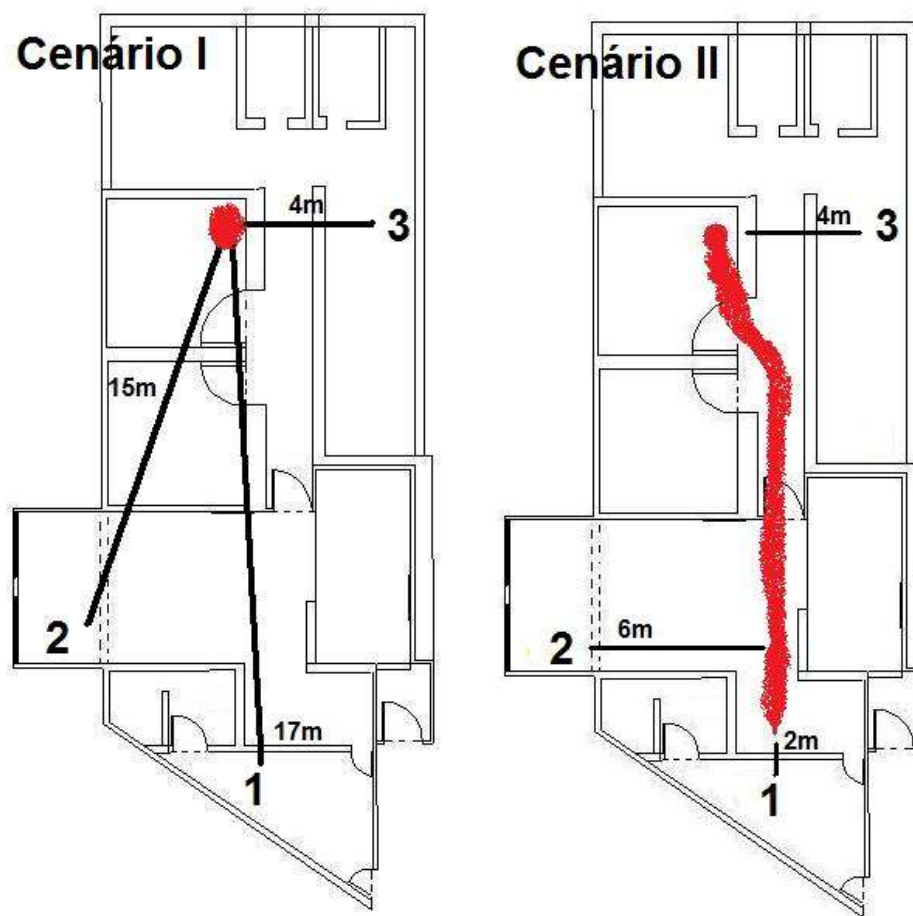


Figura 4.33 – Dados de Entrada para Cálculo da Rede

Para os cálculos, são necessários ainda os seguintes dados de entrada, válidos para qualquer posição de análise (análises 1, 2 ou 3):

Tabela 4.1 – Dados de Entrada para Cálculo da Rede

Frequencia de Operação	2400 MHz
Expoente n -	2.2
Valor L(d0) –	40.2
Potência do Transmissor	15 dBm
Ganho da Antena	2 dBi
Atenuação na parede de 150mm em 2400 MHz	4 dB
Atenuação no piso em 2400 MHz	21 dB

O expoente  $n$  utilizado foi o 2.2, que representa o cálculo gerado para ambientes indoors com pouca obstrução, como pode ser visto na planta baixa na figura 4.6. O valor  $L(d_0)$  de 40.2 é padrão para a frequência de operação em 2.4GHz.

#### 4.6.1 One Slope no Cenário I

Como referenciado no capítulo 2, a perda por propagação desse modelo é expressa por:

$$L = L(d_0) + 10 n \log (d)$$

O dado de entrada é somente a distância ( $d$ ). Para a **análise 1**, temos:

$$L = 40.2 + 10 \times 2.2 \times \log(17)$$

O que nos dá uma perda por propagação de  **$L = 67,27$  dB** na análise 1 do cenário I. O respectivo nível de recepção pode ser obtido subtraindo-se as perdas ( $L$ ) dos ganhos, que neste caso são a potência de transmissão e o ganho da antena padrão do wireless router.

$$N_r = PotTx + G - L$$

Portanto, para a análise 1 temos

$$N_r = 15 \text{ dBm} + 2 \text{ dBi} - 67.27 \text{ dB}$$

O que retorna um nível de recepção  **$N_r = -50.25$  dBm**

Para a **análise 2**, temos:

$$L = 40.2 + 10 \times 2.2 \times \log(15)$$

O que retorna uma perda por propagação de **L = 66,07 dB** na análise 2 do cenário I, e um nível de recepção **Nr = -49.07 dBm**

Para a **análise 3**, temos:

$$L = 40.2 + 10 \times 2.2 \times \log(4)$$

O que retorna uma perda por propagação de **L = 53,45 dB** na análise 3 do cenário I, e um nível de recepção **Nr = -36.45 dBm**

#### 4.6.2 Multi-Wall no Cenário I

O modelo Multi-Wall de predição em ambientes fechados apresenta a seguinte fórmula de atenuação, como referenciado no Capítulo 2.

$$L = L(d_0) + 10 n \log(d) + KF1 + \sum_{i=1}^M A_i$$

Este modelo baseia a perda por atenuação dada pela distância somada às atenuações produzidas por eventuais paredes ou pisos ao longo do trajeto. Portanto, é um modelo mais exato que o One Slope pelo fato de adotar mais variáveis do ambiente em seu cálculo.

Para a **análise 1**, temos:

$$L = 40.2 + 10 \times 2.2 \times \log(17) + 0 + \sum_{i=1}^3 4$$

Assim, a perda por propagação da análise 1 no cenário I, utilizando modelo Multi-Wall, é de **L= 79.27 dB**. O nível de recepção é de **Nr = -62.27 dBm**.

Para a **análise 2**, temos:

$$L = 40.2 + 10 \times 2.2 \times \log(15) + \sum_{i=1}^2 4$$

Assim, a perda por propagação da análise 2 no cenário I, utilizando modelo Multi-Wall, é de **L= 74.07 dB**. O nível de recepção é de **Nr = -57.07 dBm**.

Para a **análise 3**, temos:

$$L = 40.2 + 10 \times 2.2 \times \log(4) + \sum_{i=1}^2 4$$

Assim, a perda por propagação da análise 3 no cenário I, utilizando modelo Multi-Wall, é de **L= 61.45 dB**. O nível de recepção é de **Nr = -44.45 dBm**.

#### 4.6.3 One Slope no Cenário II

No Cenário II, as distâncias dos receptores 1 e 2 são reduzidas pela instalação do cabo irradiante, porém este cenário não abrange o ganho da antena, como no cenário I.

Para a **análise 1**, temos:

$$L = 40.2 + 10 \times 2.2 \times \log(2)$$

O que retorna uma perda por propagação de **L = 46,82 dB** na análise 1 do cenário II, e para o nível de recepção temos;

$$N_r = 15 \text{ dBm} - 46.82 \text{ dB}$$

O que retorna  **$N_r = -31.82 \text{ dB}$** .

Para a **análise 2**, temos:

$$L = 40.2 + 10 \times 2.2 \times \log(6)$$

Dessa forma, uma perda por propagação de  **$L = 57.32 \text{ dB}$**  na análise 2 do cenário I, e um nível de recepção  **$N_r = -42.32 \text{ dBm}$**

Para a **análise 3**, temos:

$$L = 40.2 + 10 \times 2.2 \times \log(4)$$

Assim, uma perda por propagação de  **$L = 53.45 \text{ dB}$**  na análise 3 do cenário I, e um nível de recepção  **$N_r = -38.45 \text{ dBm}$**

#### 4.6.4 Multi-Wall no Cenário II

No cenário II, as variáveis de atenuação para o modelo Multi-Wall são diferentes, bem como a ausência do ganho da antena no cálculo do nível de recepção.

Para a **análise 1**, temos:

$$L = 40.2 + 10 \times 2.2 \times \log(2) + \sum_{i=1}^1 4$$

O que retorna uma perda por propagação da análise 1 no cenário II, utilizando modelo Multi-Wall, de **L= 50.82 dB**. O nível de recepção é de **Nr = -35.82 dBm**.

Para a **análise 2**, temos:

$$L = 40.2 + 10 \times 2.2 \times \log(6) + 0$$

O que retorna uma perda por propagação da análise 2 no cenário II, utilizando modelo Multi-Wall, de **L= 57.32 dB**. O nível de recepção é de **Nr = -42.32 dBm**.

Para a **análise 3**, temos:

$$L = 40.2 + 10 \times 2.2 \times \log(4) + \sum_{i=1}^2 4$$

O que retorna uma perda por propagação da análise 3 no cenário II, utilizando modelo Multi-Wall, de **L= 61.45 dB**. O nível de recepção é de **Nr = -46.45 dBm**.

## CAPÍTULO 5. ANÁLISE DE RESULTADOS

---

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nas análises propostas pelo projeto nos cenários e situações mencionados no capítulo 4. Paralelamente, os gráficos e resultados aqui apresentados são submetidos a uma análise comparativa entre si, para posteriores conclusões.

### 5.1 Níveis de Recepção

Os gráficos da porcentagem receptiva do sinal, apresentados no tópico 4.5, correspondem aos seguintes valores da tabela 11:

Tabela 5.1 – Medidas da Porcentagem do Sinal

Sem atuação do Cabo Irradiante (cenário I)		Com atuação do Cabo Irradiante (cenário II)	
Ponto 1 (Análise 1)	24%	Ponto 1 (Análise 1)	85%
Ponto 2 (Análise 2)	39%	Ponto 2 (Análise 2)	24%
Ponto 3 (Análise 3)	65%	Ponto 3 (Análise 3)	32%

A maior discrepância de recepção considerando-se os cenários I e II pode ser observada na **análise 1**. Devido ao fato do receptor se encontrar numa localização mais afastada do Wireless Router transmissor do sinal, a atuação do cabo irradiante foi a mais intensa possível dentre as observadas em todo o ambiente de análise. A diferença de 24% no cenário I para 85% no cenário II denota uma variação de 61% na intensidade do sinal recebida. Neste ponto, a distância entre transmissor e receptor é de 17 metros.



A cobertura gráfica do ambiente mostrada na figura 5.1 segue os valores da tabela 5.1. A trajetória indicada por setas na figura indica o caminho percorrido pelo software enquanto ele fazia a medição do sinal. Para a **análise 1** (representada na figura pelo número 1), o cenário sem o cabo irradiante apresentou uma faixa vermelha, demonstrando o pior espaço para recepção do sinal, de acordo com os 24% medidos. Com o cabo irradiante, a área apresentou um nível de recepção melhor, caracterizado pela faixa amarela na figura e que foi responsável pelo valor medido de 85% de intensidade do sinal.

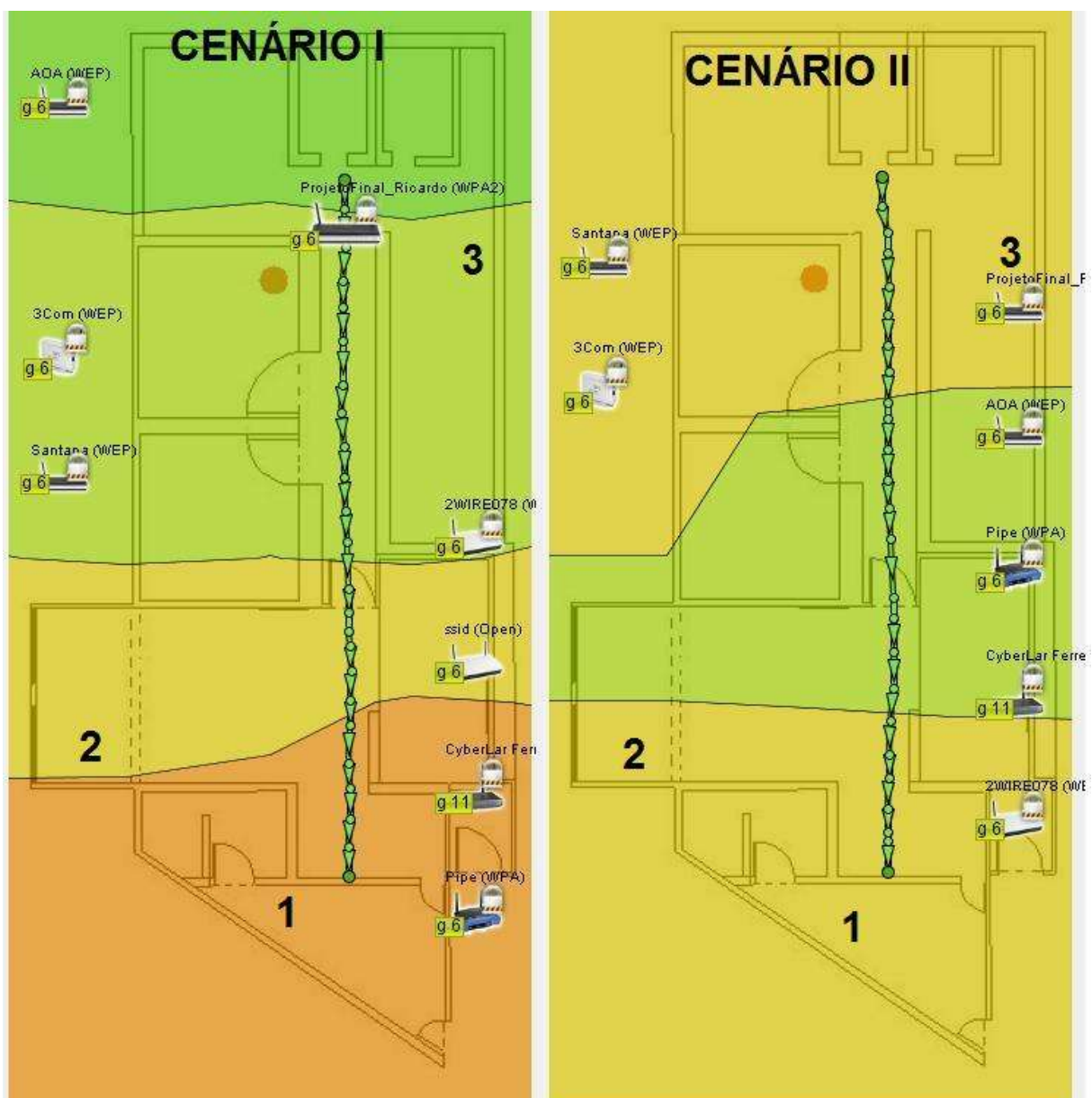


Figura 5.1 – Análise do Resultado – Nível de Recepção

Para o valor da **análise 2**, a discrepância não foi tão intensa. A figura 5.1 mostra que em ambos os cenários a intensidade do sinal se encontrava classificada pela faixa amarela, o que mostra uma uniformidade para ambos os cenários. O valor mais alto foi observado sem a utilização do Cabo Irradiante, em 39%, enquanto foi de 24% com a utilização do cabo irradiante. É uma diferença de 15% entre os dois cenários.

Essa diferença não apresenta uma variação tão alta numa aplicação de rede. Como será visto no tópico 5.2, o tempo de resposta para a **análise 2** foi o mais próximo entre os dois cenários, levando-se em conta o tempo de resposta das três análises, o que mostra a relação verdadeira entre a intensidade do sinal em uma rede e a velocidade de uma aplicação nesta rede.

Aqui também vale salientar o ponto positivo para o cenário sem a atuação do cabo irradiante. Com a **análise 2** e a posterior **análise 3**, conclui-se que o cabo irradiante não é tão útil para receptores que se encontram relativamente próximos de uma antena de transmissão omnidirecional, como é caso da antena do roteador wireless. Apesar do ponto de localização do receptor 2 estar a 15 metros do transmissor, no cenário II o cabo passa próximo a ele, o que não acontece na **análise 3**. O cabo irradiante, por não ser propriamente uma antena, não possui a propriedade de ganho do sinal, que uma antena comum possui. Devido a isso, a análise 2 mostra que uma rede sem fio será melhorada se o cabo *Radiaflex* for usado para conduzir o sinal a distâncias grandes relativas à potência de transmissão do ponto onde o sinal está sendo gerado. Para distâncias menores, é viável a utilização de uma antena omnidirecional, ou seja, um roteador sem fio comum com sua antena padrão já é o suficiente.

A **análise 3** foi a que apresentou o ponto positivo para o roteador D-Link DI 524 com antena padrão. Na figura 52 observa-se a faixa verde de cobertura no cenário I, contra a faixa amarela no cenário II. Aqui o cabo *Radiaflex* teve desvantagem considerável; conclui-se que, pelo fato dele não percorrer a área próxima do ponto de localização definido para a análise 3 (número 3 na figura 52), o sinal não teve aumento nenhum, sendo ainda piorado pela ausência da antena padrão do roteador, e consequente ausência do ganho dada pela antena. O cabo

irradiante, por ser um cabo de rede projetado para conduzir sinal de rádio em frequências variantes de 30 MHz a 6000 MHz, não tem a propriedade intrínseca da antena, que é o ganho. Portanto, no cenário II onde houve a retirada da antena para a instalação do cabo irradiante em seu lugar, o receptor na análise 3 foi afetado negativamente, apresentando uma diferença de intensidade na recepção do sinal em 33%.

Pelas características do ambiente de análise deste projeto, o roteador wireless com antena omnidirecional padrão consegue conduzir bem o sinal para dispositivos situados numa distância absoluta próxima a ele, não sendo afetado demasiadamente por paredes e desvios de rota do sinal. A difração e refração do sinal neste ambiente, onde apenas 2 paredes frontais interceptam o caminho entre transmissor e receptor, o conduzem com intensidade considerável até o destino. Para a distância da **análise 3**, de 4 metros, o cabo irradiante não pode ao menos igualar o nível de recepção regular dos dois cenários apresentados pela análise 2, onde a distância era de 15 metros.

Além disso, na análise 2 havia proximidade com o trajeto percorrido pelo cabo Radiaflex; já na análise 3, por não haver proximidade, é mais um fator que pesa contra a utilização do cabo.

#### **5.1.1 Gráfico Comparativo da Porcentagem do Sinal Recebida**

A figura 5.2 apresenta a análise comparativa dos 3 pontos de recepção medidos, nos cenários I e II. Observa-se o melhor resultado para a utilização do Cabo Irradiante na análise 1, com a diferença de 61% de intensidade do sinal entre os dois cenários avaliados; um resultado quase uniforme na análise 2, com ligeira vantagem para a não utilização do cabo irradiante e uma diferença de 15%; e o melhor resultado para o roteador wireless com antena padrão, na análise 3, com diferença de 33%.

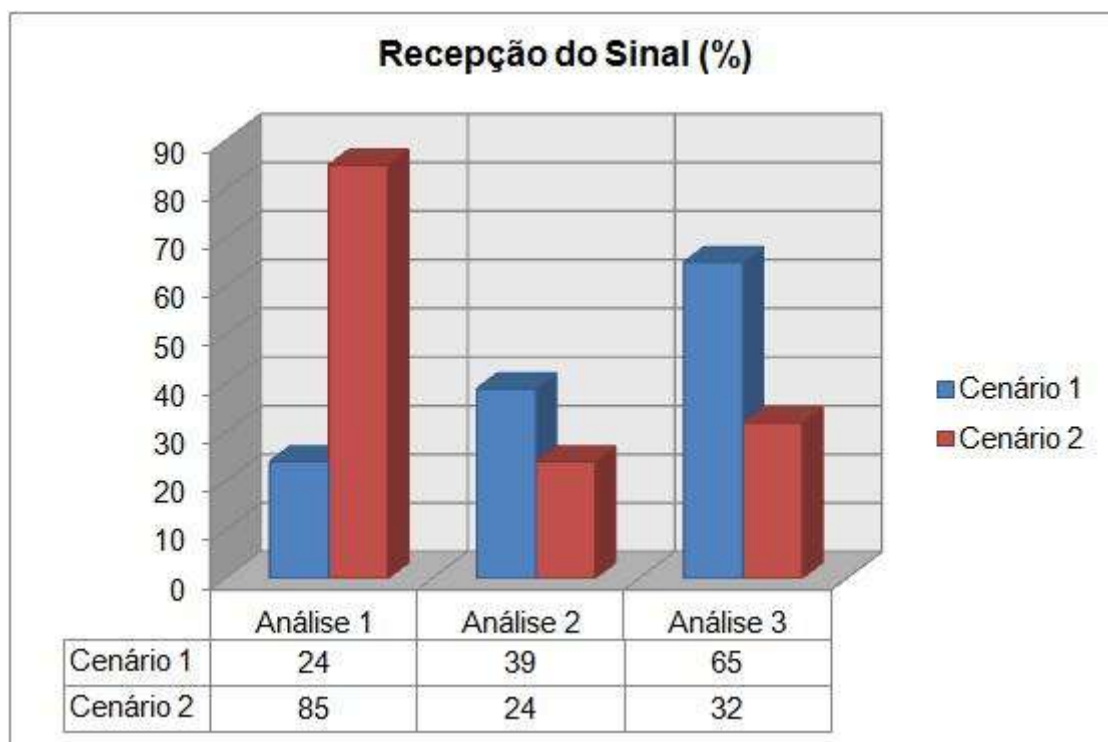


Figura 5.2 – Gráfico de Porcentagem do Sinal

De acordo com a figura 5.2 e a diferença de maior intensidade observada na análise 1, pode-se concluir que a utilização do Cabo Radiaflex numa rede sem fio é viável para distâncias grandes. Neste ambiente, quanto maior fosse o aumento da distância do receptor para o transmissor, maior seria a diferença na porcentagem de recepção do sinal para os cenários I e II. Isso ocorre devido as propriedades de condução do sinal inatas do cabo Radiaflex. Por percorrer a maior distância possível sem degradação antes de ser transmitido do cabo, o sinal conserva a intensidade para receptores localizados a vários metros de distância da fonte.

## 5.2 Tempo de Resposta

Os valores medidos na aplicação ICMP de solicitação e resposta de Eco obedeceram às análises que os precederam, tanto do nível de recepção e da faixa de cobertura do sinal para os três diferentes pontos dentro do ambiente estudado no projeto. Após a medição seguida de 10 aplicações ping, todas com quatro solicitações com pacotes de 128 bytes cada, tirou-se a média das 10 e assim foi determinado o valor para a respectiva análise.

Então, dessa forma foram obtidos os seguintes valores nos pontos avaliados (análises 1, 2 e 3):

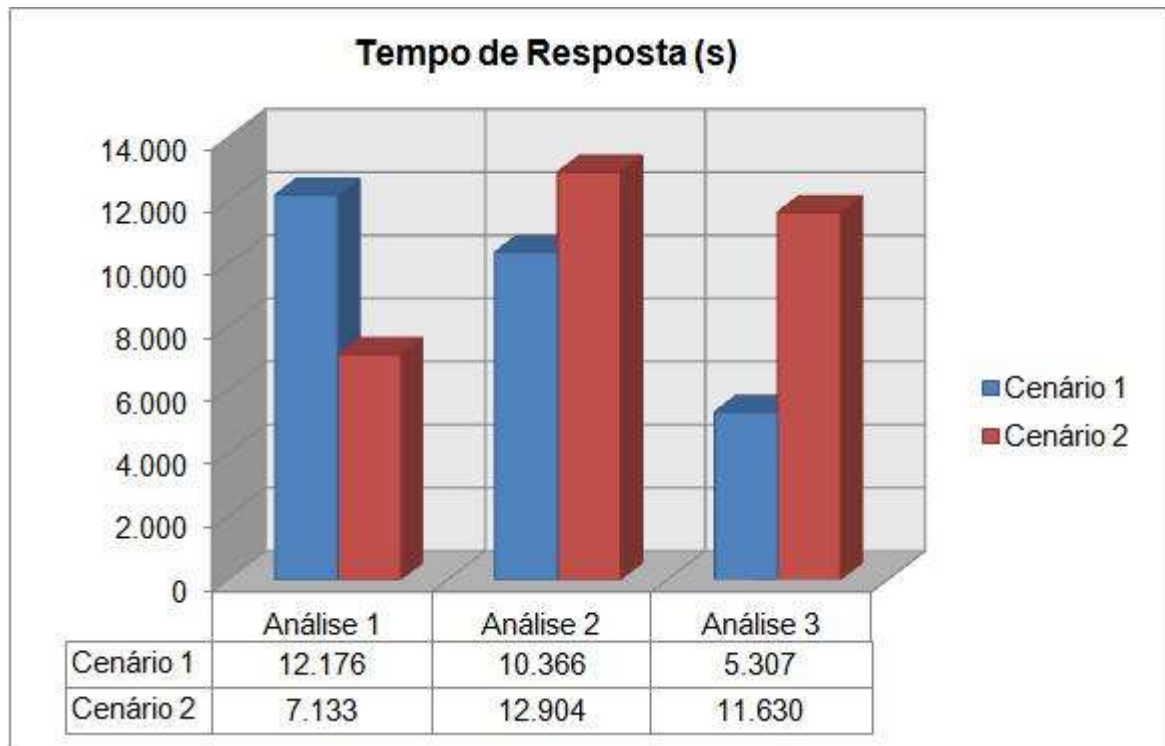


Figura 5.3 – Gráfico do tempo de resposta

Observa-se que este gráfico é inversamente proporcional ao gráfico emitido de intensidade do sinal, nos mesmos pontos avaliados. Aqui, o tempo de resposta é maior na análise 1 para o cenário sem o cabo irradiante; ao passo que a mesma uniformidade é observada na análise 2, com ligeira vantagem para o router sem fio que proporcionou um tempo de resposta menor; e na análise 3 a diferença grande com vantagem para o cenário sem o cabo irradiante.

A diferença das médias observadas na **análise 1** é considerável. Em se tratando de uma aplicação de rede, como é o protocolo ICMP testado, tanto quanto seria HTTP, Email, ou qualquer outra, observa-se que com a utilização do cabo houve um aumento em torno de 5 segundos na média de tempo de resposta da comunicação entre o roteador e o usuário. Com tráfego intenso e numa rede onde vários dispositivos estivessem conectados, este tempo tenderia a aumentar.

O padrão inverso é observado na **análise 3**, onde os pacotes fluem bem mais rápido numa rede sem fio sem a atuação do cabo irradiante. E na **análise 2** a uniformidade se manteve, aqui representada pelo tempo de resposta da aplicação.

### 5.2.1 Pacotes Perdidos

Nas situações avaliadas, as análises que apresentaram tempos de resposta mais altos devido à intensidade do sinal mais baixa no respectivo local, frequentemente tinham pacotes perdidos nas solicitações de ping. Isso ocorre pelo tempo excedido da aplicação, retornando uma mensagem ICMP de Time Exceeded (tempo excedido). As medidas dos tempos de respostas incluem o tempo gasto com os pacotes perdidos. A figura 55 apresenta uma das medidas realizadas onde houve perda de 3 dos 4 pacotes enviados, ou seja, só recebeu um Echo Reply no tempo válido, para quatro Echo Request enviado, sendo portanto a taxa de sucesso de 25% para aquela medida em particular.

O protocolo ARP que aparece na figura faz a solicitação para o router da rede de quem tem o endereço IP 192.168.0.1, que neste caso é o próprio router. O protocolo ARP poderia ser omitido com a utilização do filtro disponível no Wireshark, porém optou-se por deixá-lo a mostra, a fim de ser observado quantas vezes ele faz a requisição do IP enquanto as mensagens de Echo Request fazem as solicitações na rede. Medidas do tempo de resposta onde a intensidade do sinal estava boa não mostraram o protocolo ARP antes das respostas às 4 solicitações ping, ou quando muito, mostraram uma vez apenas, devido à rapidez com que o receptor recebia e respondia as solicitações. Isso ocasionou, consequentemente, uma medida muito baixa de tempo de resposta naquele ponto.

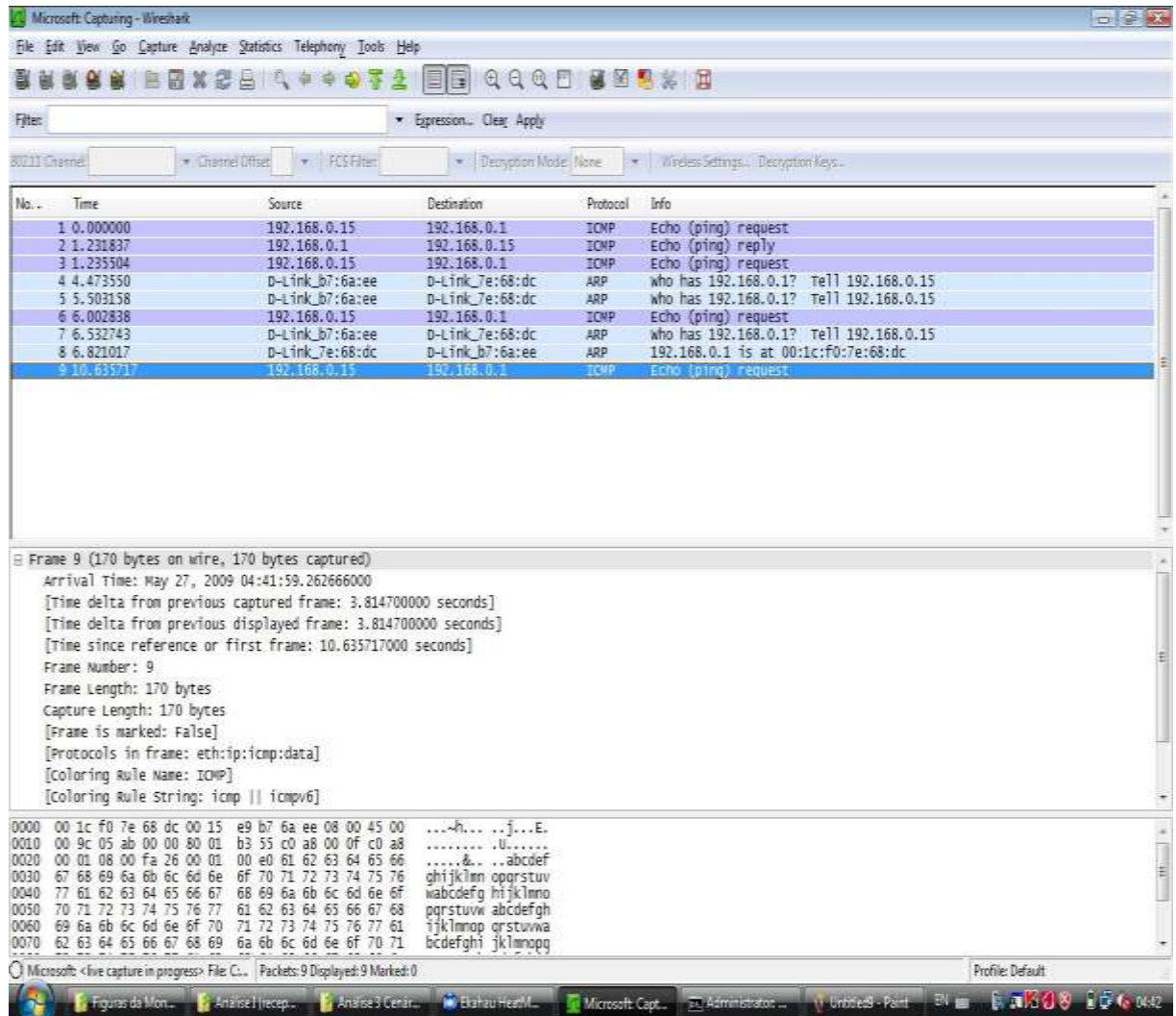


Figura 5.4 – Pacotes Perdidos

Para cada análise em cada cenário, onde ocorreram 10 medições com 4 solicitações cada, totalizando então 40 solicitações (teoricamente, pois há alguns casos onde a mensagem de Echo Request também não conseguiu ser enviada), a quantidade de pacotes perdidos foi a seguinte:

Tabela 5.2 – Relação de Echo Repls não recebidas

Cenário I (sem o cabo)			Cenário II (com o cabo)		
Análise 1	19	47.5%	Análise 1	10	25%
Análise 2	15	37.5%	Análise 2	27	67.5%
Análise 3	1	2.5%	Análise 3	26	65%

A tabela 12 mostra valores congruentes com a cobertura do gráfico avaliada no tópico 5,1, exceto pela **análise 3**. É nítida a diferença de perda dos pacotes, com vantagem para a não utilização do cabo. A discrepância se deve ao fato do receptor na análise 3 ser localizado num ponto onde, no cenário II, o cabo irradiante não passa perto. A conclusão de que a utilização do cabo é viável para distâncias grandes proporcionais à potência de transmissão é válida nesta análise de perda dos pacotes. Com a utilização neste projeto de um roteador com potência de transmissão de 2dB, um receptor localizado a 4 metros de distância do transmissor tem uma taxa de perda de pacotes bem pequena, como mostrado para a **análise 3 – cenário I**.

Porém, o mesmo receptor localizado a 4 metros de distância do transmissor, sem potência de transmissão (pois no cenário II retirou-se a antena para o uso do cabo), e que não tem por perto o cabo irradiante transmitindo (como é o caso da **análise 3 – cenário II**) tem uma taxa de perda de pacotes muito alta com a utilização do cabo.

### 5.3 Comparação com Cálculo da Rede

Os resultados para níveis de recepção achados com os modelos One Slope e Multi-Wall podem ser comparados com os resultados dados pelo tempo de resposta ou análise do sinal, para cada ponto avaliado, para se ter uma conclusão exata do comportamento do sinal.

As figura 56 apresenta um gráfico de barras para os valores de recepção calculados com o modelo One Slope. Pelo nível de recepção ser dado por um valor negativo, as barras se encontram em posição invertida no gráfico.



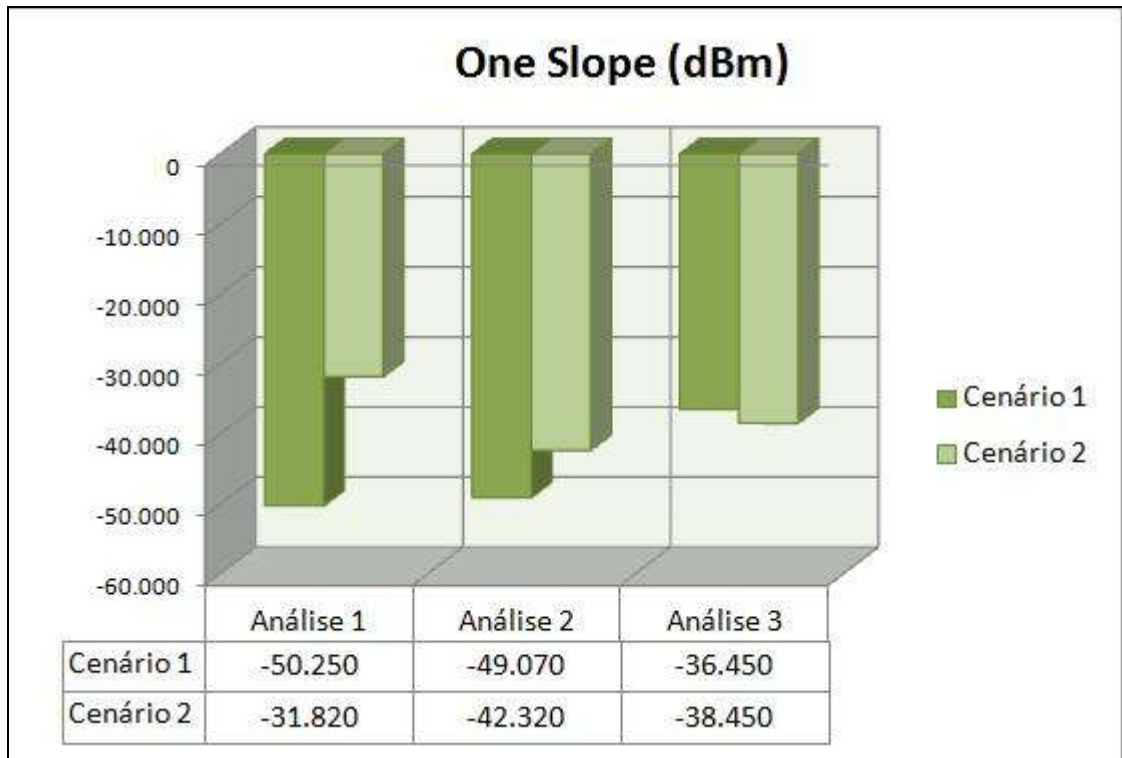


Figura 5.5 – Gráfico dos Valores e Cálculo com Modelo One Slope

Com o dado de entrada sendo somente a distância, os valores tendem a ser mais precisos no modelo Multi-Wall, pois ele analisa também a perda por quantidade e material de paredes dentro do ambiente de análise. A figura 57 apresenta as análises 1, 2 e 3 calculadas com o modelo Multi-Wall. A tendência dos valores após a utilização do modelo Multi-Wall foi a diminuição do nível de recepção, conforme pode ser observado. Esta diminuição ocorre pela inserção de novas variáveis do modelo (paredes e material da parede que causa atenuação por refração e difração). Com exceção da análise 3, os padrões se mantiveram os mesmos do modelo One Slope.

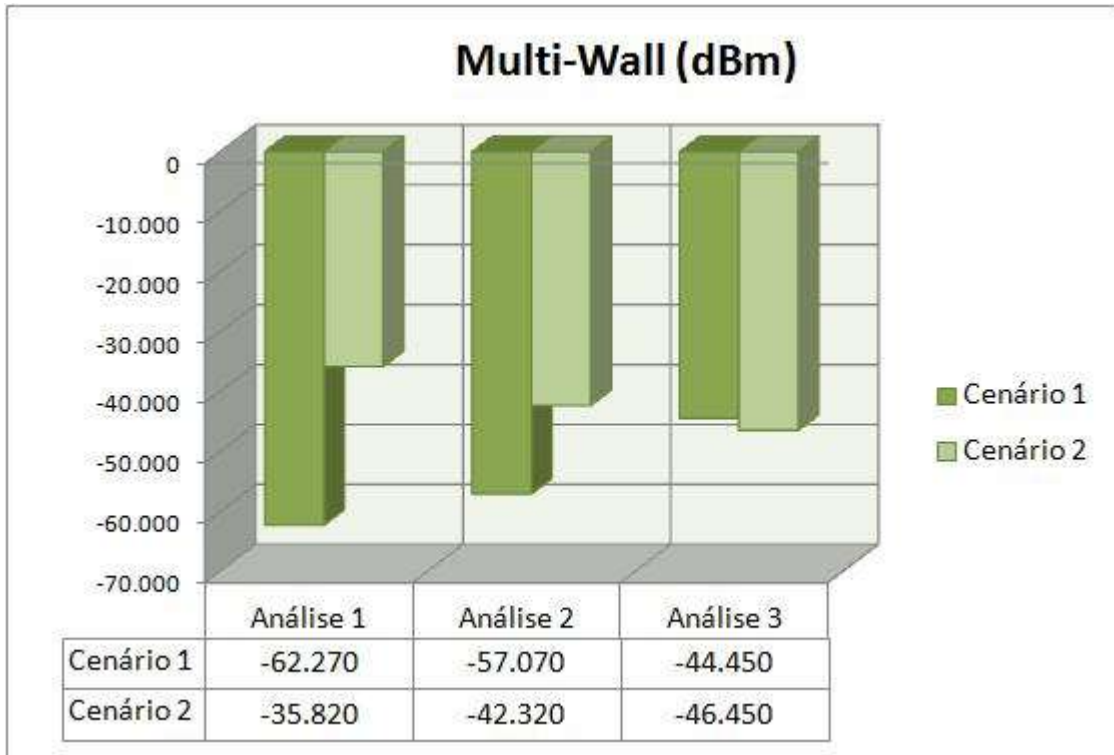


Figura 5.6 – Gráfico dos Valores de Cálculo com Modelo Multi-Wall

Comparando os valores com os tempos de resposta medidos, nota-se que o cálculo apresenta variações, como por exemplo a uniformidade apresentada na análise 2 já não é tão visível, sendo agora observada esta mesma uniformidade na análise 3. Pelo fato dos modelos não enxergarem a troca de uma antena para um cabo de rede, ao trocar o cenário I para o cenário II, a análise baseia-se somente nas medidas de distância e fatores de atenuação do ambiente.

A análise 1 mais uma vez se mostrou como sendo a grande diferença avaliada no projeto, pelos fatos já mencionados da distância maior para o ponto de transmissão no cenário I, e pela adjacência com que o receptor se encontrava do cabo no cenário II. As análises 2 e 3 continuaram variando em termos de recepção, não tendo uma diferença abrupta como nas medidas de tempo de resposta e intensidade do sinal.

Um ponto que necessita destaque é a atribuição de valores próximos para os dois cenários na análise 3; vale lembrar, mais uma vez, que o cálculo enxerga o cabo irradiante como uma antena e não como cabo, e na análise 3 pelo fato do cabo

não passar perto do receptor, a diferença na recepção do cálculo se deu apenas no ganho apresentado pela antena, no cenário I.

#### 5.4 Problemas Ocorridos

Durante a fase de implementação, foram encontradas algumas dificuldades na montagem do cabo irradiante. Por se tratar de um cabo relativamente novo no mercado, não existe muita documentação disponível que ajude em sua montagem e instalação, principalmente em conjunto com um roteador wireless doméstico.

Devido ao fato da montagem ter sido manual, esta foi uma fase bem delicada do projeto, pois erros de corte ou esforço demasiado num ponto incorreto poderiam ocasionar a inutilização do condutor interno ou implicar em perda de algumas propriedades condutoras do cabo.

Além disso, foi com grande esforço e em conjunto com a empresa que faz a fabricação do cabo (Radio Frequency Systems), que realizou-se a escolha apropriada do tipo de *pigtail* e conector para ser utilizado no projeto, devido à entrada específica do wireless router. Para cada roteador de fabricante diferente teria que pesquisar um conector específico, com entradas corretas para ambos os lados, da boca do cabo e da boca da antena padrão do roteador.

E, por fim, para os testes de tempo de resposta, fez-se necessária uma familiarização com o modo de operação do software Wireshark.

## CAPÍTULO 6. CONCLUSÃO

---

Nas redes sem fios localizadas em ambientes fechados e com índice de obstrução pequeno, que significa até três paredes ou portas entre emissor e receptor, o uso comum que se tem atualmente é de roteadores sem fio com baixas potências de transmissão. Por baixa potência de transmissão estimam-se os valores entre 10 dBm e 20 dBm.

Para o *wireless router* analisado no projeto, que possui potência de transmissão de 15 dBm, o cabo irradiante mostrou eficiência somente nas maiores distâncias avaliadas.

Observou-se que os testes foram fiéis ao tratar o panorama da rede, mostrando nos mesmos pontos os valores de tempo de resposta que concordassem com o nível de recepção do sinal melhor ou pior para o determinado ponto de análise. Assim, num mesmo ponto onde foi observada uma intensidade de sinal boa, a cobertura do sinal apresentou-se boa e o tempo de resposta foi baixo.

O cálculo da rede apresentou valores de nível de recepção contrastantes com os obtidos nos testes, somente na análise onde o cabo irradiante não tangenciava o receptor. Isso mostra a desvantagem do cabo irradiante perante antenas comuns nesta situação, pela propriedade de ganho apresentada por elas. Para os pontos mais próximos e sem tangência do cabo irradiante, ao mesmo tempo que o receptor apresentou boa recepção do sinal com a utilização da antena padrão do roteador, ele apresentou uma recepção baixa com a utilização do cabo no lugar da antena. Porém nos pontos mais afastados, os tempos de resposta foram mais baixos e o nível de recepção medido e calculado foi melhor.

Entretanto, para o cenário II esperava-se uma irradiação maior do sinal com o uso do cabo. Com os resultados obtidos, pode-se concluir que há melhora na *performance* da rede apenas para aplicações de distâncias acima de 13, 14 metros, e que receptores localizados próximos do cabo apresentam receptividade melhor

devido a baixa propriedade de irradiação apresentada, com o cabo sendo, dessa forma, de melhor utilização em ambientes de corredores longos.

Finalmente, dos testes analisados, concluiu-se que o cabo irradiante estudado no projeto é viável para aplicações de redes *indoor* com distâncias longas e potência de transmissão elevada. Dessa forma, sua irradiação será mais intensa. Ainda, concluiu-se que este cabo possui uma propriedade de confinar o sinal para receptores próximos a ele dentro do ambiente, mudando o panorama de transmissão omnidirecional dado pela antena padrão de um roteador wireless. E por fim, devido às suas propriedades, sua aplicação é indicada para uma “topologia em barramento”, ou seja, para ambientes de corredores longos, como por exemplo o corredor de um andar em um prédio empresarial. Com o cabo radiaflex sendo colocado no centro do corredor, as diversas salas ao longo do andar receberiam o sinal com intensidade uniforme e bem distribuída.

## 6.1 Sugestões para Projetos Futuros

Como sugestões para projetos futuros utilizando o cabo irradiante, são apresentados os seguintes temas:

- Verificar a distribuição e propriedades do sinal num ambiente *indoor* de longa distância (acima de 30m), com fonte de transmissão de potência maior que 30 dBm;
- Analisar a atuação do cabo irradiante e comportamento do sinal em ambientes verticais com vários pisos, como alguns andares de um prédio;
- Verificar o desempenho do cabo irradiante em ambientes *outdoor*.
- Analisar a atuação do cabo irradiante em outros ambientes de rede que não sejam uma rede local wireless, como por exemplo, uma análise de melhor cobertura do sinal de celular em determinada área.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- DERFLER, Frank J; FREED, Les. **Tudo Sobre Cabeamento de Redes**. 1a Ed. Campus, 1994 - 247 pág.
- HAYES, Monson H. **Processamento Digital de Sinais**. 1a Ed. Bookman, 2006 - 465 pág.
- NASCIMENTO, Juarez Do. **Telecomunicações**. 2a Ed. MAKRON Books, 1992 - 340 pág.
- SANCHES, Carlos Alberto. **Projetando Redes WLAN - Conceitos e Prática**. 1a Ed. Erica, 2005 - 344 pág.
- SOARES, Luiz Fernando Gomes. **Redes de Computadores: das LANs, MANs e WANs às Redes ATM**. 2a Ed. CAMPUS, 1995 - 705 pág.
- TIPLER, Paul A. **Física para Cientistas e Engenheiros: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**. 4a Ed. Volume 1. LTC, 2000 - 651 pág.
- TIPLER, Paul A. **Física para Cientistas e Engenheiros: Eletricidade e Magnetismo, Ótica**. 4a Ed. Volume 2. LTC, 2000 - 476 pág.

### Sites Consultados:

1. Antenas e Ondas (Acessado em Outubro, 2008)  
<http://0.antena.googlepages.com/home>
2. Antenas Omni Setorial - Diagrama de Radiação (Acessado em Setembro, 2008)  
[http://www.vivasemfio.com/blog/category/sinais\\_wireless\\_sem\\_fio/](http://www.vivasemfio.com/blog/category/sinais_wireless_sem_fio/)
3. Carlos E. Morimoto - Calculando a Potência de Transmissão e Recepção (Acessado em Outubro, 2008)  
<http://www.guiadohardware.net/tutoriais/alcance-antenas-conectores-potencia/pagina3.html>
4. CerComp - Redes Wi-Fi (Acessado em Outubro, 2008)  
[https://www.cercomp.ufg.br/wiki/doku.php?id=redes\\_wifi](https://www.cercomp.ufg.br/wiki/doku.php?id=redes_wifi)
5. Daniel Frassetto - Latência *versus* Largura de Banda (Acessado em Outubro, 2008)  
<http://www.networkexperts.com.br/index.php/tutoriais/8-cisco/32-influencia-da-latencia-e-banda-no-tempo-de-resposta.html>
6. Diagramas de Irradiação de Antenas (Acessado em Setembro, 2008)  
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Irradia%C3%A7%C3%A3o>

7. Electrónica (Acessado em Setembro, 2008)  
<http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/231/>
8. IEEE 802.11 - (Acessado em setembro, 2008)  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](http://pt.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)
9. Julio Battisti - Tutorial Redes Wireless - Bandas ISM (Acessado em Setembro, 2008)  
<http://www.juliobattisti.com.br/tutoriais/paulocfarias/redeswireless018.asp>
10. Julio Battisti - Tutorial Redes Wireless - Fundamentos de RF (Acessado em Outubro, 2008)  
<http://www.juliobattisti.com.br/tutoriais/paulocfarias/redeswireless003.asp>
11. Montagem de Diagramas de Irradiação de Antenas (Acessado em Setembro, 2008)  
[http://pt.wikibooks.org/wiki/Introdu%C3%A7%C3%A3o\\_%C3%A0s\\_Antenas:\\_Defini%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_Antena](http://pt.wikibooks.org/wiki/Introdu%C3%A7%C3%A3o_%C3%A0s_Antenas:_Defini%C3%A7%C3%A3o_de_Antena)
12. MSPC - Ganho de uma Antena (Acessado em Setembro, 2008)  
<http://www.mspc.eng.br/eletrn/antena110.shtml>
13. MSPC - Modelo OSI (Acessado em Setembro, 2008)  
<http://www.mspc.eng.br/info/net110.shtml>
14. Nelson Biagio Jr. – Comando Ping (Acessado em Maio, 2009)  
<http://nelsonbiagiojr.wordpress.com/2007/04/19/networking-fundamentals-o-comando-ping/>
15. O que são Ondas Eletromagnéticas (Acessado em outubro, 2008)  
<http://fisicomaluco.com/wordpress/2007/08/31/o-que-sao-ondas-eletromagneticas-e-alguns-exemplos/>
16. Protocolo ICMP (Acessado em Maio, 2009)  
<http://0fx66.com/blog/redes/protocolo-icmp/>
17. Ricardo Pais de Oliveira - Projeto de Redes Locais Sem Fio 802.11b (Acessado em Outubro, 2008)  
<http://paginas.fe.up.pt/~ee98130/PSTFC/Projecto%20de%20redes%20802.11b%20-%20Site%20Survey.pdf>
18. Teleco - Tutoriais Banda Larga e Voip - Cabo Irradiante (Acessado em Setembro, 2008)  
[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwifi/pagina\\_3.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwifi/pagina_3.asp)
19. Under Linux – Camada Física de Rede (Acessado em Maio, 2009)  
<http://under-linux.org/b321-curso-de-redes-camada-fisica>

## GLOSSÁRIO

---

Access Point - Ponto de Acesso.

Bluetooth - Especificação industrial para áreas de redes pessoais sem fio (PAN).

Echo Request – Solicitação de Eco.

Echo Reply – Resposta de Eco.

Ethernet - Tecnologia de interconexão para redes locais. Define cabeamento e sinais elétricos para a camada física da rede.

Hardware - Componentes físicos que compõem o computador.

Indoor - Ambiente Interno.

Internet Service Provider - Provedor de Serviço de Internet ou Provedor de Acesso à Internet.

MAC Address - Endereço MAC (Media Access Control)

Outdoor - Ambiente Externo.

Ping - Packet Internet Groper ou “Procurador de Pacotes na Internet”

Radiaflex – Nome para dispositivo com propriedades de irradiação

Router - Roteador.

Service Pack - Pacote de Atualizações de um sistema operacional.

Software - Componentes lógicos (programas) que compõem o computador.



Wireless - Sem fio.

Throughput - Taxa *real* de dados que pode ser transmitida numa rede em um dado período de tempo.

**APÊNDICE A – TABELA COM MEDIDAS DA PORCENTAGEM DO SINAL**

---

<b>Sem atuação do Cabo Irradiante (cenário I)</b>		<b>Com atuação do Cabo Irradiante (cenário II)</b>	
Ponto 1 (Análise 1)	24%	Ponto 1 (Análise 1)	85%
Ponto 2 (Análise 2)	39%	Ponto 2 (Análise 2)	24%
Ponto 3 (Análise 3)	65%	Ponto 3 (Análise 3)	32%

## APÊNDICE B – TABELAS COM MEDIDAS DE TEMPO DE RESPOSTA

---

### 1. Cenário sem a atuação do Cabo Irradiante (cenário I)

<b>Receptor no ponto verde (Análise 1)</b>	
<b>Número da medição</b>	<b>Valor do Tempo de Resposta de Ping (segundos)</b>
1	14.324
2	12.233
3	11.379
4	14.290
5	10.539
6	10.517
7	14.389
8	13.121
9	10.331
10	10.635
<b>MÉDIA = 12.176 s</b>	

<b>Receptor no ponto amarelo (Análise 2)</b>	
<b>Número da medição</b>	<b>Valor do Tempo de Resposta de Ping (segundos)</b>
1	8.288
2	11.336
3	11.240
4	11.379

5	8.013
6	12.019
7	6.638
8	14.376
9	8.184
10	12.189
<b>MÉDIA = 10.366 s</b>	

<b>Receptor no ponto azul (Análise 3)</b>	
<b>Número da medição</b>	<b>Valor do Tempo de Resposta de Ping (segundos)</b>
1	4.550
2	3.712
3	5.170
4	5.050
5	5.034
6	7.903
7	5.847
8	6.532
9	4.011
10	5.256
<b>MÉDIA = 5.307 s</b>	

## 2. Cenário com a atuação do Cabo Irradiante (cenário II)

<b>Receptor no ponto verde (Análise 1)</b>	
<b>Número da medição</b>	<b>Valor do Tempo de Resposta de Ping (segundos)</b>
1	6.924
2	4.056
3	6.784
4	7.651
5	5.381
6	6.177
7	10.620
8	6.972
9	8.785
10	7.978
<b>MÉDIA = 7.133 s</b>	

<b>Receptor no ponto amarelo (Análise 2)</b>	
<b>Número da medição</b>	<b>Valor do Tempo de Resposta de Ping (segundos)</b>
1	9.687
2	12.800
3	13.988
4	14.140

5	10.795
6	10.939
7	14.676
8	13.886
9	14.069
10	14.060
<b>MÉDIA = 12.904 s</b>	

<b>Receptor no ponto azul (Análise 3)</b>	
<b>Número da medição</b>	<b>Valor do Tempo de Resposta de Ping (segundos)</b>
1	9.124
2	10.938
3	10.683
4	14.321
5	13.568
6	14.134
7	10.763
8	10.674
9	13.968
10	8.131
<b>MÉDIA = 11.630 s</b>	